

Řídicí jednotka malého solárního systému

Charge Controller for Small Solar System

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Dalibor Vaníček

Studijní program:

N2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2612T025 Informatika a výpočetní technika

Téma:

Řídicí jednotka malého solárního systému
Charge Controller for Small Solar System

Zásady pro vypracování:

Navrhněte a zrealizujte systém řízení a monitorování malého solárního systému a napojených spotřebičů. Cílem práce bude navrhnout softwarové a hardwarové řešení umožňující efektivně řídit systém s maximálním výkonem 2 kW. Základ systému bude tvořen embedded systémem ALIX a řídicím/měřicím modulem propojeným pomocí I2C sběrnice. Cílem práce bude navrhnout balík aplikací určených pro operační systém Linux umožňující pokročilé monitorování a řízení.

1. Rešerše řídicích systémů malých solárních systémů a energeticky soběstačných domů.
2. Návrh softwarového rozhraní komunikujícího s řídicím modulem pomocí I2C sběrnice.
3. Návrh a realizace systému monitorování solárních panelů a životního cyklu baterií.
4. Implementace vhodného algoritmu pro řízení spotřeby (např. na základě předpovědi počasí, historických dat apod.)
5. Ukládání veškerých provozních dat do databáze a jejich přehledná reprezentace (grafy, statistiky).
6. Vytvoření vhodného GUI pro snadnou obsluhu, včetně podpory zobrazení na mobilních zařízeních (HTML5)

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Karim Yaghmour, Jon Masters, Gilad Ben-Yossef, Philippe Gerum: Building Embedded Linux Systems, O'Reilly Media, 2008, ISBN 0596529686
- [2] Augustin McEvoy, Tom Markvart, Luis Castaner: Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications, Academic Press, 2nd edition, 2011, ISBN 0123859344

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

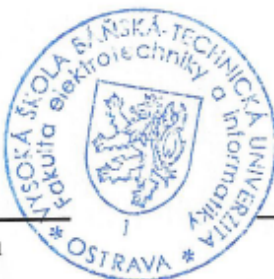
Vedoucí diplomové práce: **Mgr. Ing. Michal Krumník**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013



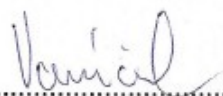
doc. Dr. Ing. Eduard Sojka
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

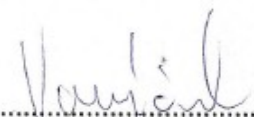
Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 *Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských programech VŠB-TU Ostrava*.

V Ostravě 17. července 2013

.....

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 17. července 2013

.....

Rád bych na tomto místě poděkoval všem, kteří mi pomohli, protože bez nich by tato práce nevznikla a především mému vedoucímu Mgr. Ing. Michalu Krumníkovi za pomoc při její tvorbě.

Abstrakt

Cílem této práce je vytvoření souboru aplikací, které by umožňovaly přehledně zobrazovat naměřená data ze solárního systému. Aplikace by také měly být schopny predikovat vygenerovanou energii na základě předpovědi počasí. Práce se ve své teoretické části věnuje popisu solárních systémů, rešerši komerčních produktů a numerickému modelu Aladin pro předpověď počasí. V praktické části je popsán balík aplikací, použité technologie a přehledně ukázána jeho funkcionalita.

Klíčová slova: solární systémy, Gaussova křivka, Aladin, MPPT, JavaScript, JFreeChart, servlety, HTML5

Abstract

The goal of this thesis is a creation of an application package, which makes possible to show gathered data from the solar system. This package should be able to predict generated electric energy based on weather forecast. In its theoretic part, the thesis describes solar systems, retrieval of the similar commercial products and numeric model Aladin for weather forecast. In the practical part of the thesis is a description of the application package, used technologies and all the functionality is shown.

Keywords: solar systems, Gaussian curve, Aladin, MPPT, JavaScript, JFreeChart, servlets, HTML5

Seznam použitých zkratk a symbolů

A	-	Ampér (Jednotka proudu)
Ah	-	Ampér hodina
API	-	Application Programming Interface
Bps	-	Bits per second
CGI	-	Common Gateway Interface
CO ₂	-	Oxid Uhličitý
CSV	-	Comma-Separated Values
HTML	-	HyperText Markup Language
HW	-	HardWare
JSON	-	JavaScript Object Notation
MIME	-	Multipurpose Internet Mail Extensions
MW	-	MegaWatt
MySQL	-	My Structured Query Language
PHP	-	PHP: Hypertext Preprocessor
SQL	-	Structured Query Language
V	-	Volt (Jednotka napětí)
Wh	-	Watt hodina
Wp	-	WattPeak
XML	-	eXtensible Markup Language

Obsah

1	Úvod	5
2	Analýza	6
2.1	Rešerše	6
2.1.1	SunReports System	7
2.1.2	SunSentry	8
2.1.3	SolarEdge.....	9
2.1.4	Zhodnocení.....	10
2.2	Aladin	11
2.2.1	Predikce vygenerované energie	13
2.3	Princip přeměny elektrické energie ze solárního záření	16
2.4	Popis solárních systémů	17
2.4.1	Solární panely	18
2.4.2	Regulátor nabíjení	21
2.4.3	Akumulátory.....	23
2.4.4	Invertory.....	24
3	Testovací solární elektrárna	25
4	Popis systému	28
4.1	Webové technologie	28
4.1.1	JavaScript.....	28
4.1.2	AJAX.....	29
4.1.3	jQuery.....	30
4.1.4	HTML	31
4.1.5	CSS	33
4.2	Databázová vrstva	34
4.2.1	Shromažďování dat.....	35
4.3	JFreeChart	35
4.4	JavaScriptový plánovač	35
4.4.1	Naplánování události.....	36
4.5	Java Server.....	37
4.5.1	Servlety.....	38
4.6	GUI programu.....	40
4.6.1	Hlavní přehled	40
4.6.2	Grafy.....	44
5	Závěr	46
6	Literatura	47

Seznam tabulek

Tabulka 1 Porovnání funkcí sledovaných produktů	11
Tabulka 2 7B datový rámec pro komunikaci	25

Seznam obrázků

Obrázek 1 Zapojení HW od společnosti SunSentry	7
Obrázek 2 Řešení od firmy SunSentry	8
Obrázek 3 Monitorovací systém SunSentry	9
Obrázek 4 Grafické rozhraní SolarEdge systému	10
Obrázek 5 Mapa oblačnosti z numerického modelu Aladin	12
Obrázek 6 Graf funkce pro predikování energie	14
Obrázek 7 Graf funkce pro hodnotu $W=34$	15
Obrázek 8 Graf funkce pro hodnotu $W=17$	15
Obrázek 9 Nahrazení atomu křemíku atomem fosforu	16
Obrázek 10 Nahrazení atomu křemíku atomem India	16
Obrázek 11 Základní schéma zapojení solárního systému	17
Obrázek 12 Monokrystalický (a), Polykrystalický (b) a Amorfni (c) solární panel	18
Obrázek 13 Křivka závislosti proud - napětí	19
Obrázek 14 Dvouosé ukotvení solárních panelů	21
Obrázek 15 Maximum Power Point Tracking	23
Obrázek 16 Schéma testovací elektrárny	27
Obrázek 17 databázová struktura	35
Obrázek 18 Denní a týdenní přehled	36
Obrázek 19 Měsíční a roční přehled	36
Obrázek 20 Vytváření opakující se události	37
Obrázek 21 Aktuální graf	41
Obrázek 22 Mapa Aladinu pro daný den	41
Obrázek 23 JavaScriptový plánovač	42
Obrázek 24 Aktuální data	43
Obrázek 25 Konfigurace systému	43
Obrázek 26 Stránka s grafy	45

Výpis zdrojových kódů

Zdrojový kód 1 Ukázka JavaScriptu	29
Zdrojový kód 2 Ukázka JQuery	31

1 Úvod

Získávání energie z obnovitelných zdrojů je směr, kterým se začalo lidstvo v poslední dekádě ubírat. Důvodem pro změnu zavedených pořádků jsou neustálé se zvyšující průměrné spotřeby energie, ale také hrozící vyčerpání zdrojů fosilní energie. Každoročně se kapacita vygenerované solární energie zvedá průměrně o 102 %. Zemí s největším množstvím nainstalovaných solárních systémů je sousední Německo, kde celkový maximální výkon je 9 785 MW. Česká Republika se nachází na 6. místě s maximálním výkonem 465 MW[[1]].

Solární energetické systémy nejsou jen o solárních panelech nebo akumulátorech, ale jejich důležitou částí je i software, který by měl umožňovat sledovat jejich efektivitu. Na základě naměřených dat lze porovnávat různá umístění solárních panelů a vliv jejich natočení na celkovou produkci. V rámci takovýchto systému panuje snaha predikovat průměrné množství vygenerované energie z historických dat. Tato práce se snaží pojmout predikci ne z hlediska historických dat, ale z hlediska budoucích, krátkodobých předpovědí.

Softwarové řešení by se mělo skládat z balíku aplikací, jehož hlavními funkcemi budou:

- shromažďování dat ze solárního systému,
- stahování předpovědí z numerického modelu Aladin,
- plánování aktivity spotřebičů,
- služba starající se o zapínání a vypínání spotřebičů podle plánovače,
- Java server, který bude sloužit jako komunikační vrstva mezi systémem a uživatelem.

Velký důraz v takovýchto systémech je kladen na přehlednou interpretaci naměřených dat. V rámci této práce bude využito nejmodernějších webových technologií (HTML5, CSS3, JavaScript), aby bylo dosaženo multiplatformnosti, která je v dnešní době standardem.

2 Analýza

Hlavním tématem této kapitoly bude analýza solárních systémů, které se skládají z mnoha částí a ty nejdůležitější zde budou popsány. Solární systémy mohou být rozděleny do dvou skupin podle toho, jak bude používán jejich energetický výstup. Prvním druhem jsou síťové solární elektrárny (tzv. On-grid systémy), které umožňují majiteli dodávat vygenerovanou energii přímo do distribuční sítě. Existují dvě varianty, kdy majitel může energii spotřebovávat a tudíž ji nemusí od distributora nakupovat nebo veškerou vygenerovanou energii prodávat distributorovi. Druhou variantou jsou tzv. ostrovní solární systémy (Off-grid systémy), které jsou běžnější v místech, kde není rozvodná síť. Pro účely této práce posloužil ostrovní solární systém a teoretická část bude pojednávat právě o tomto typu[[2]].

Solární systém to nejsou jen solární panely, které jsou namontovány na střeších či obrovských lánech polí, ale také regulátory nabíjení, akumulátory či inventory. Regulátory nabíjení jsou důležitým prvkem v solárních systémech, protože ochraňují baterie před přebitím nebo ty modernější nám zajišťují, že solární panely dodávají největší možné množství energie v danou chvíli. Solární systémy generují energii podle množství dopadajících fotonů na solární panely, tzn., že je to nestabilní zdroj energie. V těchto systémech je nutností mít akumulátory, které nám budou uchovávat vyrobenou energii, když ji bude přebytek a naopak při špatném počasí budou sloužit jako zdroj elektrické energie pro spotřebiče. Další části solárního systému jsou inventory, které se starají o přeměnu stejnosměrného proudu na střídavý[[3]].

Zásadní částí tvorby takového solárního systému je i řešení komerčních produktů. Hlavní důraz při řešení bude na vizuální stránku softwarových řešení, nebo zdali systémy používají predikci, kolik bude za určitý časový úsek vygenerováno energie.

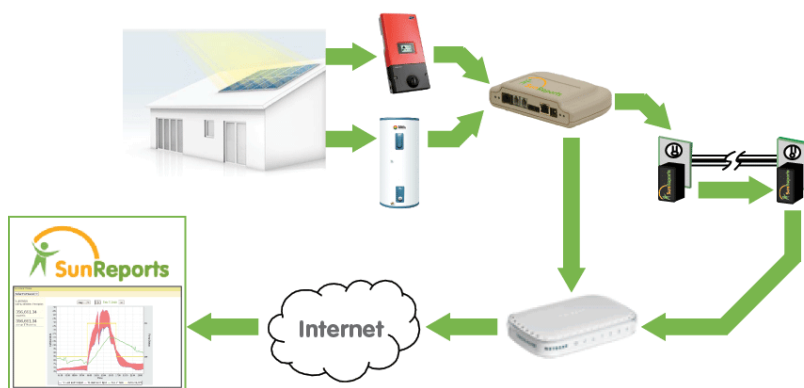
V rámci této diplomové práce byl kladen velký důraz na predikci vygenerované energie podle předpovědi počasí. Pro predikci byl zvolen numerický model Aladin, který vytváří krátkodobé předpovědi pro Evropu a vychází z více než 20 miliónu bodů v 3D mřížce nad Střední Evropou. V této kapitole bude ukázáno, jak jsou tyto krátkodobé předpovědi přesné a užitečné pro budoucí systém[[4]].

2.1 Řešení

V následující podkapitole budou představeny řešení od komerčních společností, které nabízejí, jak softwarové, tak i některé zajímavé hardwarové vylepšení solárních systémů. Hlavní důraz bude kladen na představení funkcionality softwarových řešení a jejich grafickém rozhraní. Některé části těchto systémů posloužili k inspiraci při implementaci této diplomové práce. Hardwarová vylepšení také nebudou opomenuta a ty nejzajímavější z nich budou zmíněna v textu níže.

2.1.1 SunReports System

Společnost SunReports¹ byla založena v roce 2008 a jejím prvotním účelem bylo poskytnutí zázemí pro uchovávání dat uživatelů o vyprodukované energii z jejich malých domácích elektráren. Cílem společnosti bylo vytvořit plug and play produkt s důrazem na nulovou potřebu následné konfigurace. Po připojení ke stávajícímu systému se naměřená data okamžitě odesílají skrze uživatelův router na webové servery společnosti, kde k nim uživatel může přistoupit odkudkoliv. Tradiční zapojení HW prvků v solárním systému od společnosti SunReports (viz Obrázek 1).

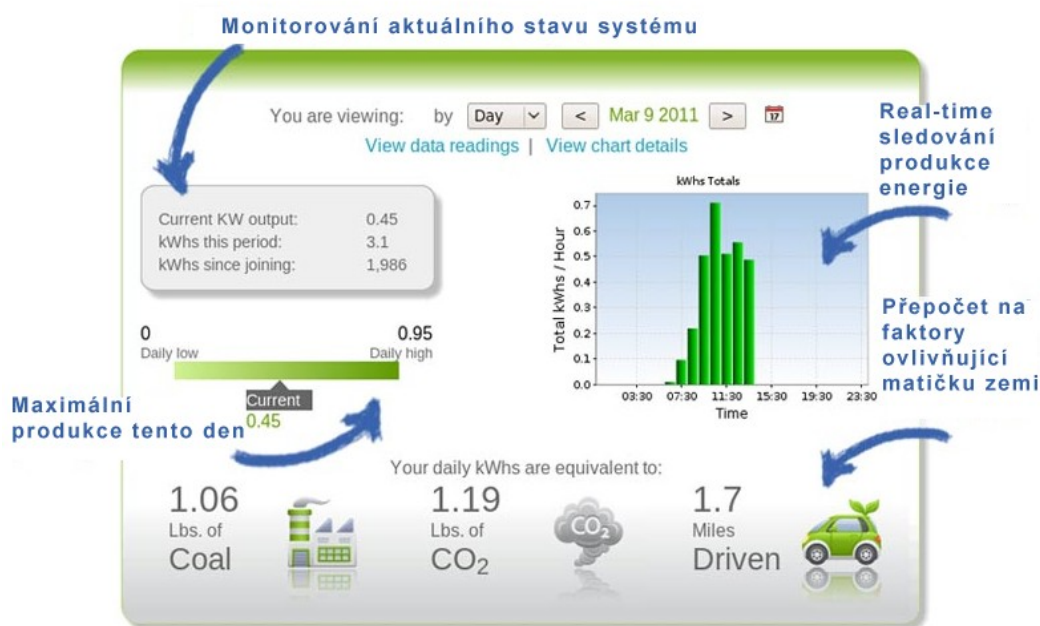


Obrázek 1 Zapojení HW od společnosti SunSentry

2.1.1.1 Grafický interface

Grafické znázornění naměřených dat se jeví velmi přehledně. Na úvodní stránce se nachází aktuální informace ze solárních panelů. Je zde vykreslen real-time graf s aktuálními hodnotami vyrobené energie, ale také statistické prvky (viz Obrázek 2). Systém uvádí maximální hodnoty vygenerované energie v daném dni. Pro ekologické nadšence byla začleněna část, která udává, kolik by bylo potřeba fosilních paliv k vyrobení stejného množství energie.

¹ SunReports system : <http://www.sunreports.com/>



Obrázek 2 Řešení od firmy SunSentry

2.1.2 SunSentry

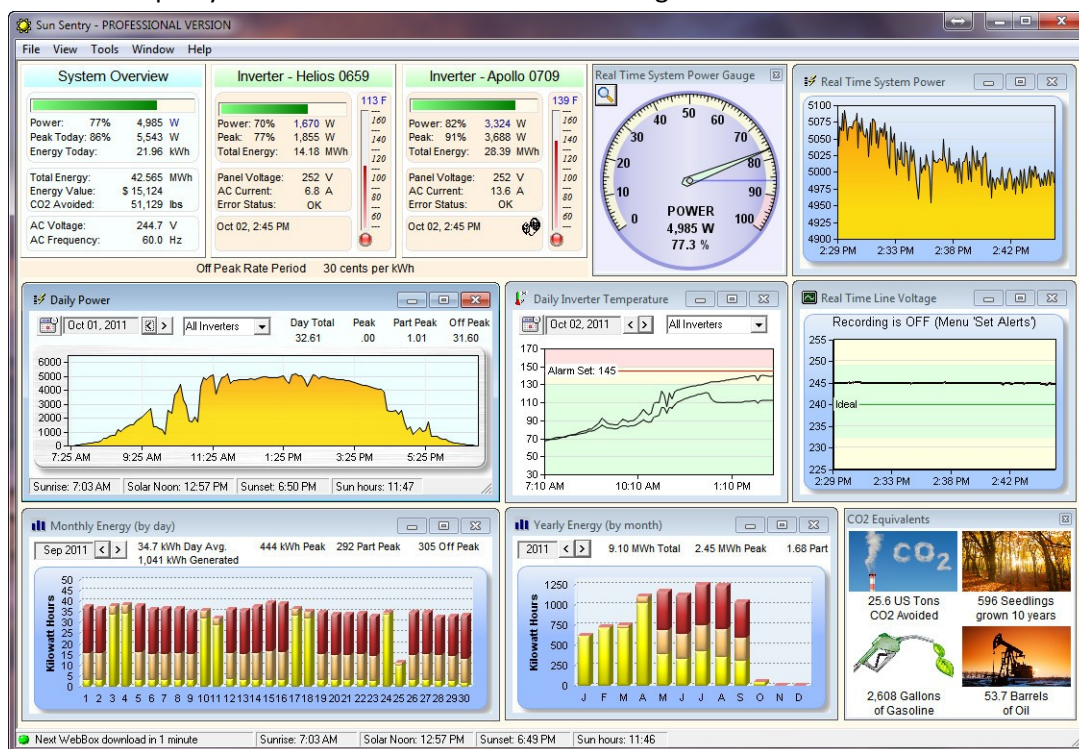
Monitorovací systém SunSentry² je aplikace na operační systém Windows, která sbírá data z tzv. WebBoxu a následně je prezentuje uživateli ve velmi pěkném provedení a se zajímavými údaji. Jak bylo výše zmíněno, tento software se potřebuje připojit k WebBoxu, což je hardwarová část solárního systému, kterou je potřeba připojit k invertoru, ze kterého začne shromažďovat data do své interní paměti. Jeho hlavní výhodou je ovšem možnost poskytnout přístup k těmto datům i z vnějšku. Těto funkcionality využívá právě monitorovací systém SunSentry, který po připojení a nastavení okamžitě začne se stahováním dat.

2.1.2.1 Grafický interface

SunSentry monitorovací systém nabízí mnohem více možností sledování aktivity solárního systému, než výše zmíněný SunReports systém. Výhodou tohoto systému je možnost sběru dat z více elektráren a přehledu celkové vygenerované energie. Grafické rozhraní je rozděleno do mnoha částí, jako je celkový přehled, měsíční přehled, denní grafy atd. (viz Obrázek 3). Prvním význačným prvkem uživatelského rozhraní je přehled o celkovém výkonu systému a také rozdělení podle jednotlivých připojených částí. V těchto souhrnech

² SunSentry : <http://www.sunsentry.com/>

lze nalézt hodnoty o vygenerované energii, maximálních hodnotách energie dodávané ze solárních systémů, či teplotách jednotlivých invertorů. Součástí grafického rozhraní jsou také různé grafy (denní, měsíční, roční), které ukazují naměřené hodnoty. Měsíční přehled se dokonce snaží předpovědět množství vygenerované energie na zbylé dny v kalendářním měsíci. Používá k tomu zřejmě naměřená data z daného měsíce, ale algoritmus této predikce není veřejně přístupný. Opětovně je tu začleněna část, která uvádí množství CO₂, které vzniká při vyrobení ekvivalentního množství energie.



Obrázek 3 Monitorovací systém SunSentry

2.1.3 SolarEdge

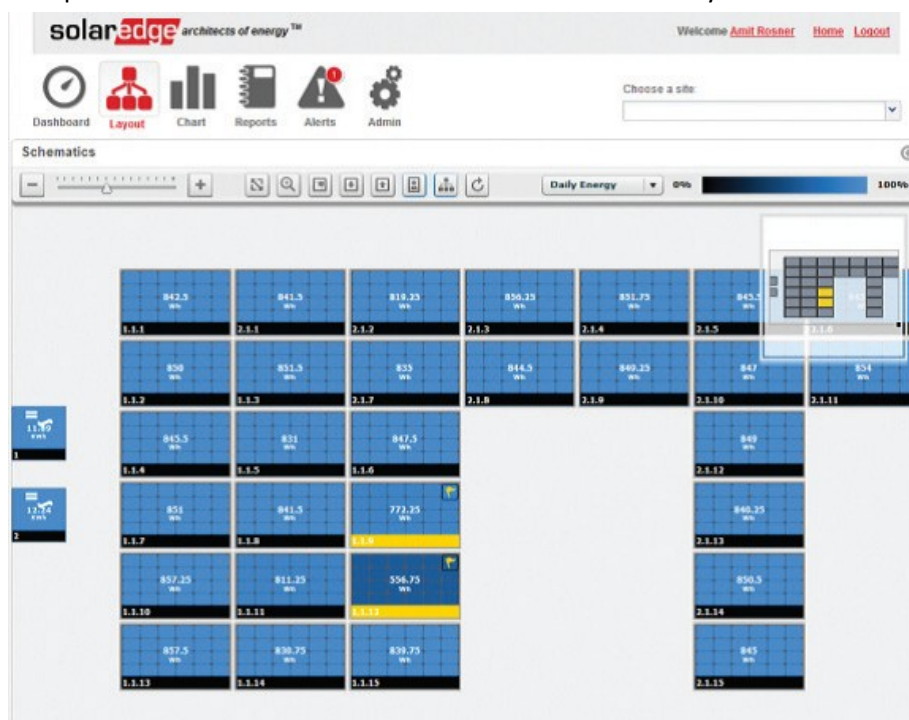
Společnost SolarEdge³ byla založena v roce 2006 a jejím hlavním oborem je technologické vylepšení solárních systémů a jejich monitorování. Řešení SolarEdge se týká, jak hardwarové, tak i softwarové stránky solárních systémů. Hardwarová část tohoto řešení se skládá ze dvou prvků a to Power Optimizeru a Power Inverteru.

- Power Optimizer - ke každému solárnímu panelu je připojen právě jeden Power Optimizer, který provádí Maximum Power Point Tracking. Toto řešení zaručuje, že v danou chvíli dostáváme z každého solárního panelu maximální množství energie.

³ SolarEdge : <http://www.solaredge.com/>

- Power Inverter - K tomuto zařízení jsou připojeny všechny Power Optimizery. V řešení společnosti SolarEdge je tento prvek zodpovědný za sběr dat, a umožňuje šíření zaznamenaných dat po síti.

V softwarové části lze zobrazit grafické znázornění zapojení systému (viz Obrázek 4). Je zde možnost zjistit kolik produkuje jednotlivé panely v solárním systému elektrické energie a tím mít zpětnou vazbu o kvalitě jednotlivých panelů. Stejně jako ve výše zmíněných systémech je zde grafové a statistické zobrazení o vygenerované energii. Novinkou je začlenění předpovědi počasí, která je uváděna na několik dní dopředu. Tato předpověď je však pouze informativní a nemá žádnou váhu na kontrolu systému.



Obrázek 4 Grafické rozhraní SolarEdge systému

2.1.4 Zhodnocení

U vybraných komerčních řešení lze vidět, že se všechny soustředí na kvalitní prezentaci dat, což je cesta, kterou se bude ubírat i vyvíjený software v rámci této práce. Porovnání výše zmíněných produktů lze vidět v tabulce níže (viz Tabulka 1), která zobrazuje důležité funkce takovýchto systémů. Zarážejícím zjištěním je, že skoro všechny řešení naprosto opomíjejí důležitost předpovědi počasí pro ostrovní systémy.

Parametry Produkty \	Hardwarové vylepšení	Real-time grafy	Predikce vyg. energie	Předpověď počasí	Přepočty na fosilní zdroje	Plánování spotřebičů
SunReports	Ano	Ano	žádná	Ne	Ano	Ne
SunSentry	Ne	Ano	z historických dat	Ne	Ano	Ne
SolarEdge	Ano	Ano	žádná	Ano	Ne	Ne
Vyvíjený software	Ano	Ano	z předpovědi počasí	Ano	Ne	Ano

Tabulka 1 Porovnání funkcí sledovaných produktů

2.2 Aladin

Model Aladin (Aire Limitée, Adaptation Dynamique, Development International) je numerický model z počátku 90. let vyvíjený francouzskou meteorologickou službou Meteo France. Konsorcium okolo tohoto numerického předpovědního modelu čítá více než desítku států v Evropě, Severní Africe či východní Asii. Aladin se snaží díky náročným matematickým rovnicím, které jsou odvozeny z fyzikálních zákonů, a počátečním datům vypočítat krátkodobou předpověď pro dané území. Aladin pracuje s 3D mřížkou, kde každý bod dané mřížky poskytuje informace pro ony náročné algoritmy. Na vertikále počítá s 87 hladinami, kdy u povrchu je tato síť nejhustší a s rostoucí nadmořskou výškou síť řídne. V horizontální mřížce jsou od sebe body vzdálené cca 4,7 kilometru. Tyto počty nám dávají pro střední Evropu přes 20 miliónů bodů. Aladin provádí v každém z bodů zhruba 30 000 operací v plovoucí čárce, což při tak velkém počtu bodů dělá 600 miliard operací. O tyto náročné matematické operace se v České Republice, konkrétně v Českém Hydrometeorologickém Úřadu, stará superpočítač NEC SX-9, který má výpočetní výkon 3,2 teraflopy za sekundu. Model Aladin vytváří čtyřikrát za den předpovědi na následujících 54 hodin. Vygenerované mapy slouží nejenom k předpovědím počasí, ale najdou využití i pro letecké meteorology, povodí různých řek či integrovaný záchranný systém[[5]][[6]].

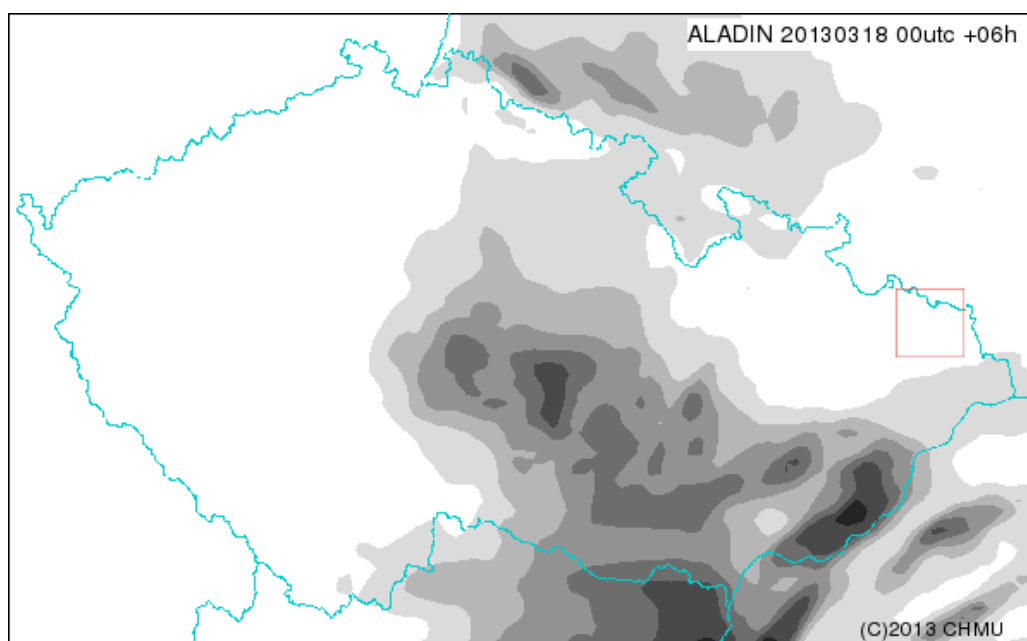
V rámci této diplomové práce byly využívány tyto volně dostupné mapy⁴ (viz Obrázek 5) a zpracované data byly porovnávány s naměřenými hodnotami ze solární elektrárny. Jeden z vygenerovaných typů map je mapa oblačnosti, která byla zpracovávána v algoritmu pro zjištění oblačnosti nad územím, kde se nachází solární elektrárna. V tomto algoritmu bylo využito jasových složek pixelů v okolí solární elektrárny a spočtena průměrná hodnota oblačnosti nad touto oblastí. Hodnoty se díky jasům pixelů pohybovaly v rozmezí od 0 do

⁴ CHMI Aladin : <http://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ov/aladin/results/ala.html>

255, kde 0 znamená jasno a 255 zataženo. Rovnice uvedená níže byla využita pro výpočet oblačnosti. Hodnoty x a y udávají velikost oblasti v pixelech, ve které bude počítána oblačnost, proměnné i a j jsou souřadnice středu oblasti, ve které bude počítána oblačnost a proměnná $P_{i+k,j+l}$ je hodnota jasu na daném pixelu v obraze[[7]].

$$O = \frac{\sum_{-\frac{x}{2} \leq k < \frac{x}{2}} \sum_{-\frac{y}{2} \leq l < \frac{y}{2}} P_{i+k,j+l}}{x * y}$$

Ve vzorci si lze všimnout intervalů, kde krajní hodnoty mohou nabývat neceločíselných hodnot. Pokud nastane tato situace (např. v případě, kdy argument x je lichý), je nutné tyto hodnoty zaokrouhlit.



Obrázek 5 Mapa oblačnosti z numerického modelu Aladin

Jeden pixel na mapě je ekvivalentní s oblastí $0,698 \text{ km}^2$, s ohledem na tuto hodnotu je nutné zvolit rozumný počet pixelů, jelikož předpovědi vycházejí v šestihodinovém intervalu a tedy z jedné této předpovědi není možné určit průměrnou oblačnost pro celou tuto časovou periodu. Z mapy nelze vyčíst, jakým směrem se fronta bude pohybovat, tudíž byla v diplomové práci experimentálně zvolena oblast čtverce se středem v místě položení solárních panelů a šířkou strany 40 pixelů. Tento čtverec určuje oblast kolem $1\,200 \text{ km}^2$, tedy čtverec o straně necelých 35 km. V této části je určitě místo pro vylepšení algoritmu na výpočet průměrné oblačnosti, např. při znalosti směru fronty lze počítat s větším množstvím pixelů a jejich následovným ohodnocením konstantou ovlivnění oblačnosti nad daným územím.

2.2.1 Predikce vygenerované energie

Jedním z hlavních cílů diplomové práce byla predikce množství vygenerované energie na základě předpovědi počasí. K tomuto účelu byl vybrán numerický model Aladin, který se pyšní vysokou úspěšností v krátkodobých předpovědích. Spolehlivost Aladinu společně s daty ze solárního systému měla být využita pro vytvoření vzorce, jehož výsledkem bude počet vygenerovaných Wh. Cílem tedy bylo potvrzení korelace mezi množstvím oblačnosti a dodanou energií ze solárních panelů.

Předtím než došlo na samotné porovnání mezi oblačností a vygenerovanou elektrickou energií, bylo třeba zjistit přesnost krátkodobých předpovědí. Z množiny předpovědi počasí byly vybrány takové, které poskytovaly 12h předpověď. Ty byly následně porovnány s hodnotami reálných oblačností pro daný den. Po tomto porovnání muselo být vyřazeno zhruba 40 % nepřesných předpovědí, což vedlo k nemožnosti provést statistické analýzy z důvodu nedostatečného souboru dat.

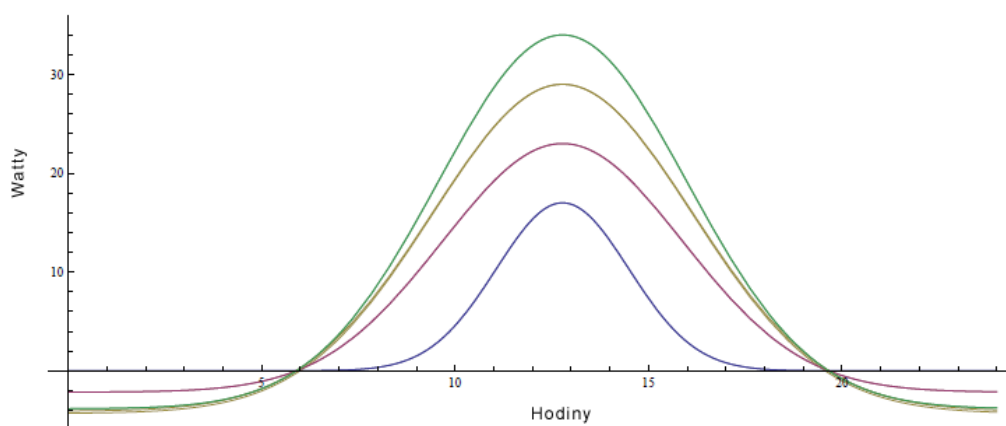
Tato situace vedla k pokusu o vytvoření modelu, který by vyhovoval konkrétnímu systému. Využito bylo znalosti, že systém je fixně ukotven a směřován tak, aby v období okolo solárního poledne na něj dopadalo sluneční záření pod nejlepším úhlem. Naměřená data byla následně vynesena do grafu, kde byla zpozorována podobnost s Gaussovou křivkou. Z důvodu specifičnosti Gaussovy funkce bylo potřeba úpravy jejího funkčního zadání, tak aby mohla být použita pro predikci energie v konkrétním solárním systému. Nasbíraná data pomohla vytvořit parametrické funkce, které nám upravily Gaussovou křivku tak, že její střed je v období solárního poledne a průsečíky s osou X jsou v čase východu a západu slunce. Pro vytvoření této konkrétní funkce posloužil matematický program Wolfram Mathematica, ve kterém po vynesení naměřených dat došlo k nastavení podmínek (W_p , východ a západ slunce). Následně hodnoty, které byly získány po vykreslení křivek s různými podmínkami, byly extrapolovány polynomem 3. řádu.

$$Fce(x; W) = (W + g(W))e^{-\frac{(x - solarNoon)^2}{2f(W)^2}} - g(x), \text{ kde}$$

$$f(W) = -14.7035 + 1.73463W - 0.0549094W^2 + 0.000569506W^3 \text{ a}$$

$$g(W) = 18.3335 - 2.96942W + 0.147882W^2 - 0.00215469W^3.$$

Grafickou reprezentaci křivek popsaných rovnicemi výše lze spatřit v grafu níže (viz Obrázek 6). Osa y je hodnota výkonu panelu v závislosti na čase (osa x).



Obrázek 6 Graf funkce pro predikování energie

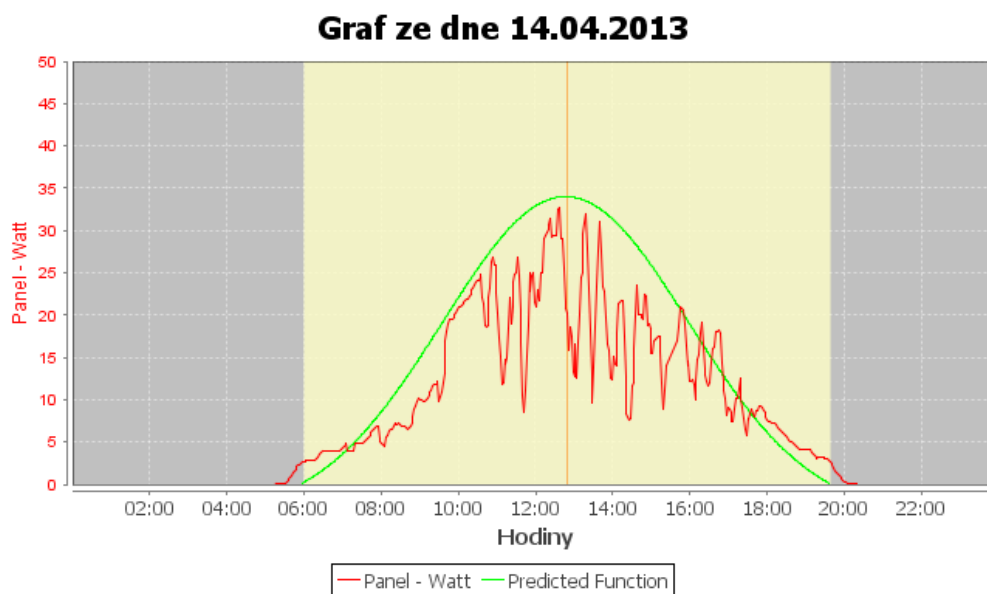
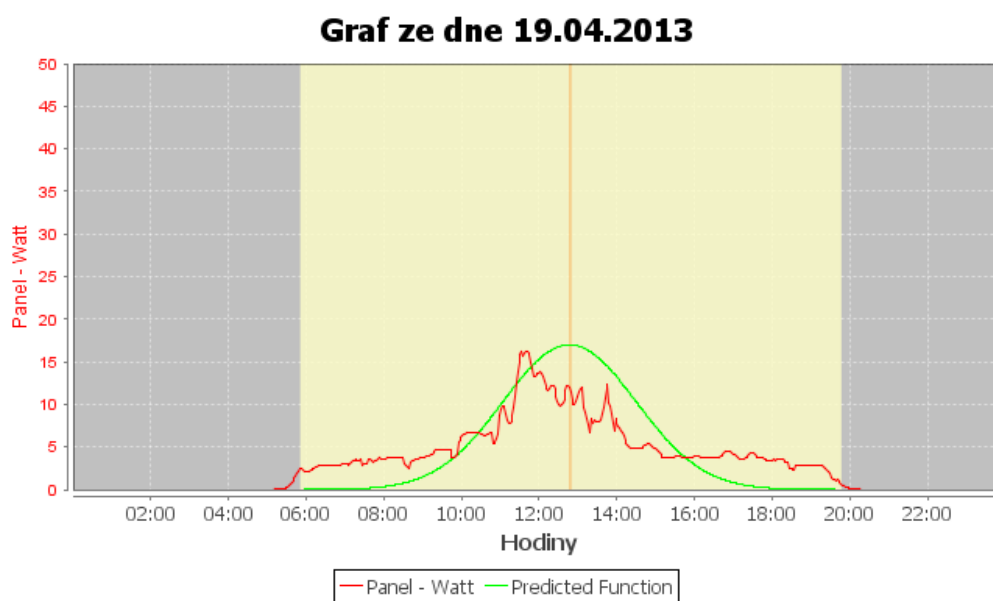
Pro pochopení rovnic je potřebné vědět, že proměnná 'x' popisuje průběh hodin ve dni, 'solarNoon' je čas solárního poledne, 'W' je hodnota výkonu solárních panelů během solárního poledne. Pro závislost celkové vygenerované energie a hodnoty W, platí tato funkce:

$$Fce(W) = -595.933 + 65.3127W - 1.85758W^2 + 0.0194296W^3$$

Poslední funkcí je zjištění hodnoty W z krátkodobých předpovědí. Zde je vstupní proměnnou průměrná oblačnost.

$$Fce(o) = -\frac{38}{255^2}o^2 + 38$$

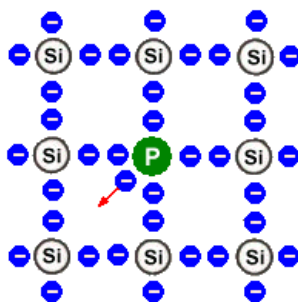
Na obrázcích níže lze vidět porovnání křivky produkovaných Wh a $Fce(x;W)$.

Obrázek 7 Graf funkce pro hodnotu $W=34$ Obrázek 8 Graf funkce pro hodnotu $W=17$

2.3 Princip přeměny elektrické energie ze solárního záření

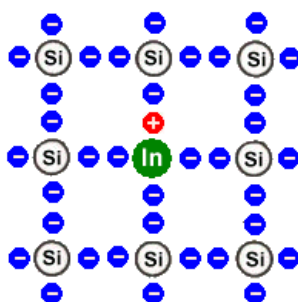
Princip je důležitý pro pochopení principu předpovědí a řízení systému (akumulované energie v akumulátorech). Změna solárního záření na elektrickou energii spočívá ve fotovoltaickém jevu, který využívá vlastnosti polovodičů P a N a také PN přechodu. Zvláštní elektrické vlastnosti polovodičů jsou způsobeny stavbou krystalové mřížky. Nejpoužívanějším polovodičem je křemík, jenž při nízké teplotě a ve tmě nevede žádný proud, protože valenční elektrony jsou silně poutány k jádru. Při zahřátí či osvětlení dojde k narušení těchto vazeb a může dojít k uvolnění elektronů. Díky uvolnění vznikne na původním místě tzv. díra, která se navenek jeví jako kladný náboj. Tato fyzikální vlastnost je základem fotovoltaického jevu.

1. Polovodič typu N – v tomto typu polovodiče dochází v krystalech křemíku k náhradě některých atomů pětimocnými atomy (fosfor, arzen). Čtyři z oněch pěti valenčních elektronů se připojí do původních vazeb a jeden nadbytečný elektron je lehce chemicky vázán k jádru (viz Obrázek 9). Při lehkém zahřátí či dopadu světla dochází k narušení těchto lehkých vazeb a k uvolnění elektronů.



Obrázek 9 Nahrazení atomu křemíku atomem fosforu

2. Polovodič typu P – v tomto typu polovodiče dochází v krystalech křemíku k náhradě některých atomů trojmocnými atomy (indium). Všechny valenční elektrony se účastní původních vazeb v polovodiči a na jednom místě vzniká díra (viz Obrázek 10).



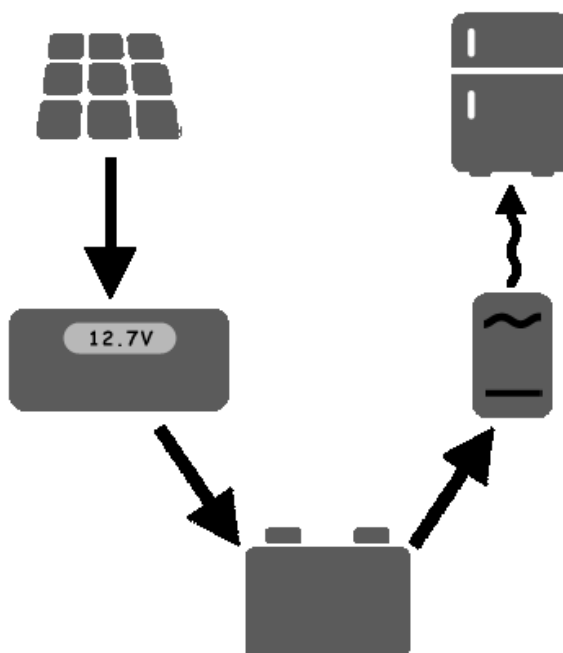
Obrázek 10 Nahrazení atomu křemíku atomem India

Fotovoltaický jev využívá tzv. PN přechodu, který brání plynulému přesouvání valenčních elektronů z místa přebytku do místa, kde jich je nedostatek (směr z N do P). PN přechod

zajišťuje hromadění volných elektronů v N vrstvě. Při zapojení spotřebiče do systému dojde k toku uvolněných elektronů skrze vytvořený obvod zpátky do P vrstvy, čímž vzniká stejnosměrný proud[[8]].

2.4 Popis solárních systémů

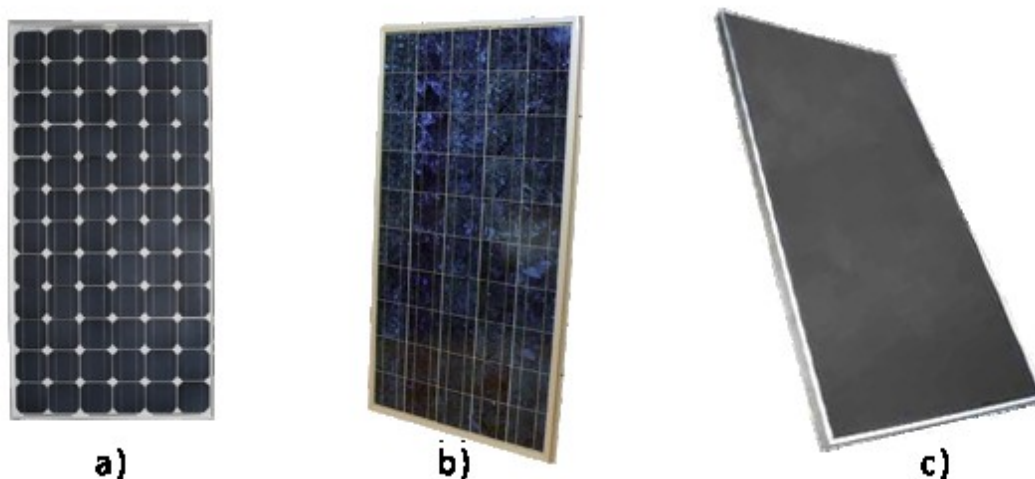
V následující podkapitole bude popsána základní stavba solárního systému. Základním stavebním kamenem jsou fotovoltaické moduly nazývané solární panely. V sekci níže budou uvedeny základní informace, jak by se měly ukotvovat nebo jak okolní vlivy ovlivňují samotné generování elektrické energie. Ovšem solární panely nejsou jedinou částí solárních elektráren (viz Obrázek 11). Kvůli nestabilitě produkce elektrické energie je nutné přidat do systému dva prvky. Prvním prvkem jsou akumulátory, které by měly uschovat elektrickou energii v době, kdy solární systém produkuje více energie, než požadují zapojené spotřebiče a naopak poskytovat elektrickou energii, když nám solární panely nedodávají dostatek. Pokud se v systému nacházejí akumulátory, měl by být také přítomen regulátor nabíjení, který akumulátory ochrání proti přebití nebo proti unikání energie z akumulátoru zpět do panelů. Dalším prvkem (pokud se v systému nachází spotřebiče na střídavý proud) solárního systému je invertor, který se stará o změnu stejnosměrného proudu na proud střídavý[[3]].



Obrázek 11 Základní schéma zapojení solárního systému

2.4.1 Solární panely

Solární panely generují energii ze slunce, díky změně slunečního záření na elektřinu (fotovoltaický jev). Solární panely neobsahují žádné pohyblivé části, nevyzařují žádné emise a nepotřebují žádnou údržbu. Solární panel, první článek solárního energetického systému, je kolekcí individuálních solárních článků, které generují elektřinu ze slunečních paprsků. Fotony (částice světla) produkují elektrický proud, jakmile dopadnou na povrch tenkých křemíkových wafferů. Jeden solární článek dokáže produkovat napětí okolo 0,5 V.



Obrázek 12 Monokrystalický (a), Polykrystalický (b) a Amorfní (c) solární panel

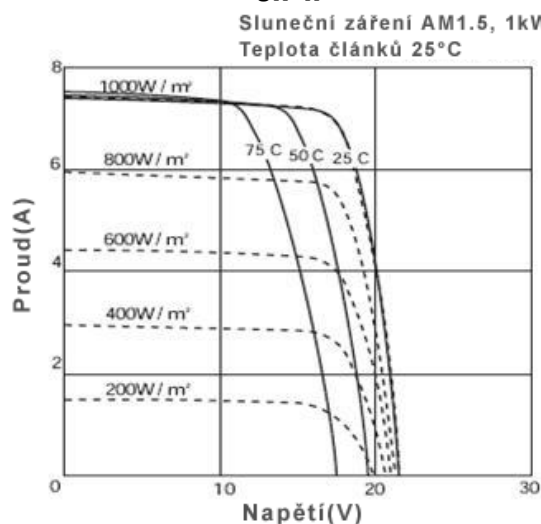
2.4.1.1 Elektrická charakteristika panelů

Každý solární panel má od výrobce definované výkonnostní parametry, kterých by měl panel dosahovat ve specifických podmínkách. Tyto specifické podmínky jsou nazývány standardními testovacími podmínkami a měly by aproximovat průměrným hodnotám v reálném světě. Standardy byly zavedeny z důvodu možnosti porovnávat jednotlivé solární panely. Standardní testovací podmínky obsahují tři faktory.

1. Sluneční záření – udává se ve Wattech na čtvereční metr. Standardem je 1 kW/m^2 ,
2. Vzdušná masa – tato hodnota odkazuje na hustotu a čistotu ovzduší. Standardem je hodnota 1,5,
3. Teplota fotovoltaických článků – Standardem udávaná teplota je 25°C .

Každý model solárních panelů má jedinečnou výkonovou charakteristiku, která může být graficky reprezentována v grafu. Tento graf odkazuje na vztah mezi napětím a proudem pod daným slunečním zářením a teplotu solárních článků. Solární modul má více těchto

křivek, pouze záleží na okolních hodnotách (sluneční záření, teplota fotovoltaických článků). Z tohoto grafu lze vyčíst, že největšího výkonu dosahují panely právě v ohybu dané křivky. Tento bod se nazývá Maximum Power Point a využívají ho regulátory nabíjení, které mají funkci Maximum Power Point Tracking[[9]].



Obrázek 13 Křivka závislosti proud - napětí

Z výše zmíněného lze vidět, že dvěma hlavními parametry, které ovlivňují výkon solárních panelů, je množství dopadajícího slunečního záření a teplota, která ač se to nezdá je také velmi důležitým parametrem. Tyto parametry můžeme ovlivnit například umístěním solárních panelů do vyšších nadmořských výšek, kde je nižší teplota vzduchu a zároveň se snižuje hustota vzduchu.

2.4.1.2 Monokrystalické solární panely

Nejefektivnější, ale také nejnáročnější na výrobu jsou monokrystalické solární panely. Solární články v tomto druhu solárních panelů jsou vyráběny z velmi čistého křemíku a jejich výroba je velmi náročná a nákladná (viz Obrázek 12a). Na začátku jsou vyrobeny dlouhé křemíkové tyče o průměru až 300 mm. Tyto tyče se následně řezou na 2 a 4mm waffery, z nichž jsou pak vyráběny solární články, které se k sobě připojí v solárních panelech. Účinnost monokrystalických panelů se pohybuje v hodnotách 13 až 17 %[[10]].

2.4.1.3 Polykrystalické solární panely

Často jsou také nazývány multi-krystalické solární panely. Tento druh solárních panelů je vytvořen z polykrystalických článků, které jsou sice méně efektivní než monokrystalické, ale jejich výroba je levnější. Polykrystalické jsou nazývány proto, že se nevyrábí z jednoho kusu křemíku, ale z vícera kusů, což jim dává vzhled rozbitého okna (viz Obrázek 12b). Stejně jako monokrystalické články se vyrábějí v podobě tyčí, které jsou následně nařezány

na kruhovitě waffery. Účinnost polykrystalických panelů se pohybuje v hodnotách 10 až 14%.

2.4.1.4 Amorfni solární panely

Tento druh solárních panelů se neskládá z křemíkových krystalů, ale tenké vrstvy křemíku (viz Obrázek 12c), která je umístěna na nějaký základový materiál (kov, sklo). Amorfni solární panely jsou velmi levné na výrobu, ale jejich účinnost je velmi nízká (4 až 8%). Nejčastěji se užívá tam, kde není omezení prostorem. Častým využitím je výroba střešního materiálu, který následně funguje jako solární panel.

2.4.1.5 Okolní vlivy ovlivňující efektivnost solárních panelů

Zastínění – Během rozhodování, kam umístit solární panely, je nutno brát v potaz, aby v průběhu největší sluneční aktivity nedopadaly na povrch panelů žádné stíny. Dopadající stíny velmi ovlivňují efektivnost solárních panelů a snižují jejich energetický výstup. Některé solární panely mohou stíny poškodit díky nerovnoměrnému zatížení solárních článků na panelu.

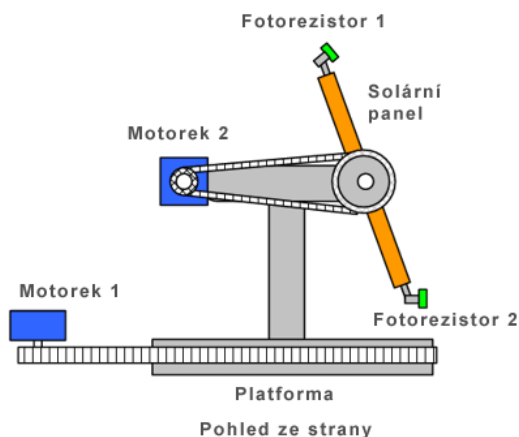
Teplota – dalším důležitým aspektem je zajištění vzdušného proudění a díky tomu ochlazování solárních panelů. Solárním panelům se snižuje efektivnost s rostoucí teplotou, proto je nutné myslet na vhodné uspořádání panelů a umožnění dobrého proudění vzduchu, který nám bude panely ochlazovat[[10]].

2.4.1.6 Ukotvení solárních panelů

- Fixní - Použití fixního ukotvení solárních panelů je nejjednodušší a nejlevnější způsob. Ovšem solární panely zůstanou stacionární po celý rok a nebude zajištěn kolmý dopad slunečních paprsků na povrch. Solární panely by měly být vždy namontovány tak, aby byla zajištěna co nejdelší doba, kdy na ně budou dopadat sluneční paprsky. Naklonění panelů by mělo být nastaveno podle zeměpisné šířky.
- Nastavitelné – Použití nastavitelného uchycení solárních panelů umožňuje změnu náklonu solárních panelů a tím dosáhnout lepší efektivity. Nejčastěji se naklonění upravuje před ročním obdobím léto a zima. Hlavním důvodem je rozdílný úhel dopadu slunečních paprsků v těchto obdobích. Úhel se může lišit až o desítky procent a změna naklonění nám může zvýšit roční výkon solárních panelů až o 25 %.
- Sledovací – Tento typ uchycení solárních panelů je ze všech zmíněných druhů nejefektivnější. S tímto druhem ukotvení se panely otáčejí za sluncem a natáčejí se tak, aby sluneční paprsky dopadali v co nejlepším úhlu na křemičitý povrch. Existují dva druhy tohoto uchycení[[11]]:
 - Jednoosé – Solární panely sledují slunce od východu k západu,

- dvouosé – Solární panely sledují slunce od východu k západu, ale také upravují naklonění, aby nám paprsky dopadaly kolmo na povrch panelů.

Cena vytvoření sledovacího ukotvení panelů se odvíjí od plochy solárních panelů. Toto uchycení není ideální pro výkonné solární systémy, ale spíše pro zvýšení efektivity menších domácích solárních elektráren. Pro stavbu sledovacího ukotvení je třeba si pořídit dva motorky, které budou schopny otáčet solární panely za sluncem. Dále je nutností umístit solární panely na platformu, kterou bude moci jeden z motorků otáčet kolem její osy a umožní tak sledování slunce od východu k západu. Solární panely by měly být na platformě uchyceny způsobem, který bude umožňovat druhému motorku úpravu naklonění tak, aby sluneční záření dopadalo pod pravým úhlem na solární články. Součástí, která zajistí, aby motorky byly schopny natočit solární panel do správné polohy, je fotorezistor (viz Obrázek 14). Fotorezistor funguje na principu snižování elektrického odporu při zvyšování intenzity slunečního záření. Na základě hodnot z těchto čtyř fotorezistorů (dva pro naklonění, dva pro otáčení) systém zajišťuje ideální polohu panelu během celého dne[[12]].



Obrázek 14 Dvouosé ukotvení solárních panelů

2.4.2 Regulátor nabíjení

Dalším prvkem v solární elektrárně by měl být regulátor nabíjení. Regulátor nabíjení je důležitou částí všech elektrických systémů, které využívají akumulátorů. Hlavním úkolem regulátoru je udržovat akumulátory co nejdéle v perfektním stavu. Tento úkol se skládá z více menších podúkolů, které jsou z hlediska výdrže akumulátorů velmi důležité.

2.4.2.1 Blokování zpětného proudu

Solární panely při slunečním svitu generují elektrický proud, který je veden směrem k bateriím. V noci ovšem může nastat situace, kdy se tok energie obrátí a dochází k pomalému vybíjení akumulátorů.

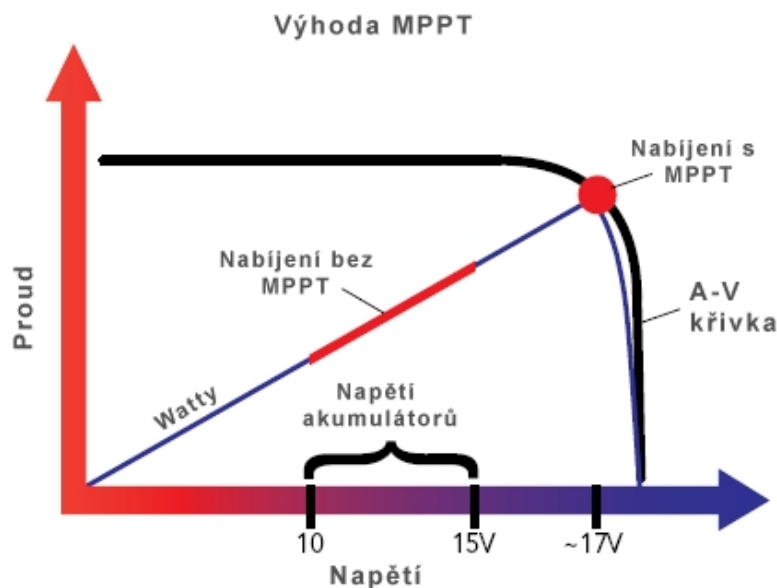
Ve většině regulátoru nabíjení je toto řešeno polovodičovou diodou, která dovoluje elektrickému proudu procházet pouze jedním směrem. Existují však také regulátory nabíjení s elektromagnetickými cívkami, které spínají a rozepínají jednotlivé elektrické okruhy.

2.4.2.2 Prevence přebíjení

Jakmile baterie dosáhnou plného nabití, už dále nejsou schopny přijímat přicházející energii ze solárních panelů. Úkolem regulátoru je kontrolovat napětí baterií a při dosažení maximální hranice začít regulovat tok energie směrem do baterií. Naopak při poklesu napětí na bateriích opětovně umožnit maximální tok energie k rychlému dobití baterií. Toto chování se nazývá regulace napětí a je nezákadnějším a nejdůležitějším úkonem regulátoru nabíjení[[3]].

2.4.2.3 MPPT(Maximum Power Point Tracking)

V poslední době se v regulátorech nabíjení začala objevovat nová funkce, tzv. Maximum Power Point Tracking. Tato funkcionalita zajišťuje maximální využití dodávané energie ze solárních panelů. Při 12V solárním systému se napětí na akumulátorech může pohybovat zhruba v rozmezí 11 až 14V. Kvůli tomuto jsou typické solární moduly vyráběné pro napětí v hodnotě 15V při standardní teplotě. Je to z důvodu, aby napětí na panelech bylo neustále větší než na akumulátorech a mohlo tak docházet k jejich nabíjení. Ovšem může nastat situace, kdy je velmi chladné počasí (solární články mají nižší teplotu než standardní, tudíž stoupá jejich napětí) a napětí může vzrůst až na hodnoty okolo 18V. Regulátor nabíjení s touto funkcí může toto napětí „snížit“ a dodat akumulátorům větší proud než nám generuje solární panel. V teoretickém případě, kdy maximální napětí na panelech je 18V a napětí na akumulátorech při zátěži se pohybuje okolo 12V je dodáván o 50 % větší proud do akumulátorů (viz Obrázek 15). V praktickém případě, kdy dochází ke ztrátám během tohoto převodu, se hodnoty pohybují okolo 20-30 %[[13]].



Obrázek 15 Maximum Power Point Tracking

2.4.3 Akumulátory

Akumulátory jsou nedílnou součástí každého systému, který využívá obnovitelný zdroj energie. Ať už se jedná o vzdušné, vodní či solární energetické systémy, všechny používají nějaké úložiště pro vygenerovanou elektrickou energii. Obzvláště v případě solárních systémů, které mohou dodávat energii pouze ve chvílích, kdy na ně dopadá sluneční záření. Hlavním úkolem akumulátorů je uschovávat přebytečnou energii ze systému a skladovat ji pro chvíle, kdy solární moduly nejsou schopny pokrýt veškeré energetické požadavky v systému.

Existují dvě možnosti zapojení většího množství akumulátorů do jednoho elektrického obvodu. Pro dosažení větších kapacit akumulátorových zásobníků slouží paralelní zapojení, pro zvýšení napětí slouží sériové zapojení. V rámci obvodu lze kombinovat tyto druhy zapojení a zvyšovat, jak napětí, tak kapacitu akumulátorů[[9]].

2.4.3.1 Druhy akumulátorů

Nejčastějším typem používaných akumulátorů ve fotovoltaických systémech jsou olověné akumulátory, které mohou být rozděleny do dvou skupin.

1. Akumulátor se zaplavenými elektrodami – klasický typ trakčního akumulátoru, který není hermeticky uzavřený. Výhodou akumulátoru se zaplavenými elektrodami je nízká

cena a při správné údržbě i dlouhá životnost. Jejich nevýhodou je potřeba umístění ve větraných a neobydlených prostorách. Během dobíjení totiž z akumulátorů uniká vodík a kyslík a dokonce může dojít k úniku elektrolytu. Další nevýhodou je nutná údržba, která spočívá konkrétně v doplňování destilované vody.

2. Hermeticky uzavřené akumulátory – tento druh akumulátoru je dražší než výše zmíněný typ, ale při správném zacházení vydrží větší množství nabíjecích cyklů. Hlavní výhodou těchto akumulátorů je, že mohou být umístěny v jakékoliv poloze, jelikož z nich neunikají žádné plyny ani elektrolyt. Další výhodou je absolutní bezúdržbovost těchto akumulátorů. V hermeticky uzavřených akumulátorech je elektrolyt buď ve formě gelu, nebo je nasáknut do skelné hmoty[[14]].

2.4.4 Invertory

Dalším prvkem v solárních systémech je invertor. Solární panely produkují stejnosměrný proud, a pokud by systém měl napájet např. kuchyňské spotřebiče, byla by potřeba změnit stejnosměrný proud na proud střídavý. Právě pro tento účel slouží v solárním systému invertor. V raném vývoji byla energetická ztráta při konverzi okolo 40 %, tzn., že pro napájení 60W žárovky bylo potřeba dodat z akumulátoru celých 100W. U nejnovějších modelů se již efektivnost konverze pohybuje okolo 90 %.

3 Testovací solární elektrárna

Implementovaný systém byl testován na velmi malé „elektrárně“ s jedním polykrystalickým panelem o výkonu 50W. Panel je určen pro 12V systémy, s maximálním napětí 17,9V a maximálním proudem 2,79A. Panel je umístěn na vodorovné střeše, natočení vůči slunci tak není zcela ideální a panel nedodává maximum svého výkonu. Maximální výkon během provozu byl naměřen 40W.

Inicializace datového rámce						Kontrolní součet rámce
Byte1	Byte2	Byte3	Byte4	Byte5	Byte6	Byte7
SN	Příkaz	INT1		INT2		CRC
SN	Příkaz	LONG				CRC
SN	Příkaz	FLOAT				CRC

Tabulka 2 7B datový rámec pro komunikaci

Solární panel je připojen k solárnímu regulátoru CM3024Z. Ten neumožňuje v textu popisované MPPT, ale pouze jednodušší PWM regulaci nabíjení. Regulátor nabízí připojení k monitorovacímu systému pomocí sériového rozhraní (9600 bps, 8N1). Komunikace probíhá pomocí jednoduchého protokolu využívajícího 7B rámce s kontrolním součtem (viz Tabulka 2).

Solární regulátor nám pro získání měřených hodnot nabízí tyto příkazy:

- 0x01 – pro aktuální napětí a proud na solárních panelech,
- 0x05 – pro celkový počet akumulovaných Ah,
- 0x10 – pro napětí na akumulátoru,
- 0x11 – pro teplotu a kapacitu akumulátoru,
- 0x14 – pro aktuální zátěž systému,
- 0x16 – pro celkový počet spotřebovaných Ah.

Příklad komunikace:

I Connecting to '10.0.1.2':2001.

I Local IP: '10.0.0.9' port: 48824

I Remote IP: '10.0.1.2' port: 2001

Request 01 01 00 00 00 00 84

Response 01 01 14 05 48 00 63

Request 01 05 00 00 00 00 9B

Response 01 05 6F 01 00 00 C3

Request 01 10 00 00 00 00 2B

Response 01 10 EC 04 00 00 71

Request 01 11 00 00 00 00 F8

Response 01 11 16 00 50 00 2E

Request 01 14 00 00 00 00 34

Response 01 14 29 00 00 00 C3

Request 01 16 00 00 00 00 A3

Response 01 16 4B 00 00 00 C3

Formatted Output

```
=====
Solar panel    U = 13.00 V, I = 0.72 A, P = 9.36 W
Battery        U = 12.60 V, C = 80.00 %, T = 22.00 oC
Load           I = 0.41 A
Accumulated panel power = 000367 Ah
Accumulated load power  = 000075 Ah
=====
```

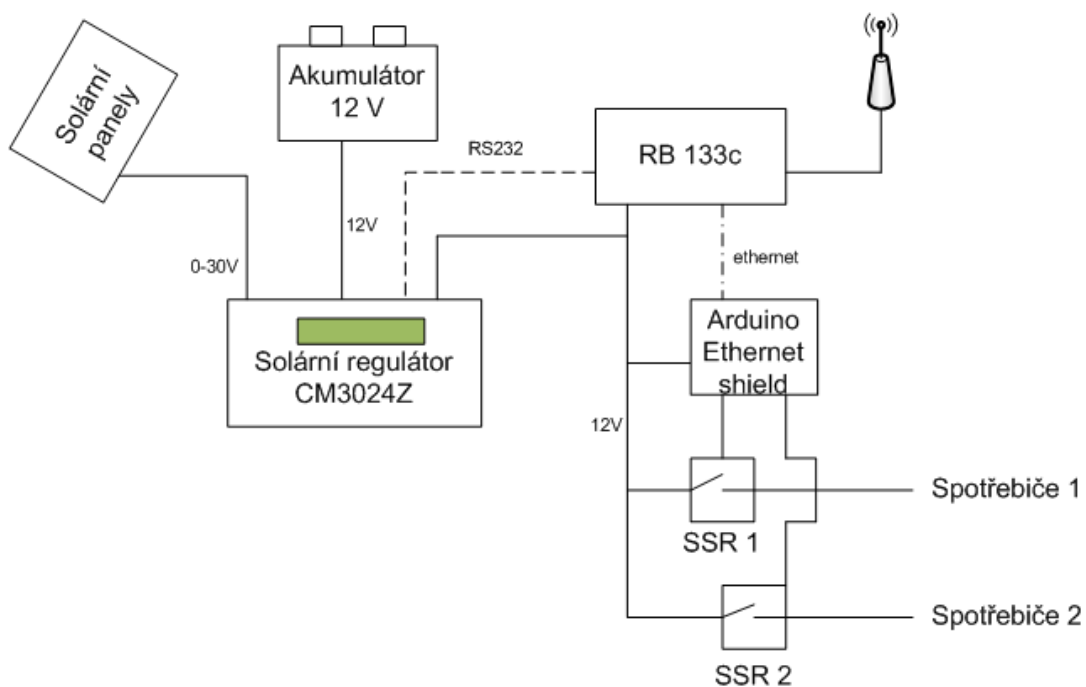
Regulátor je schopen dodat informaci o aktuálním napětí a proudu ze solárních článků, stavu baterie a odebíraném proudu zátěže. Navíc uchovává informace o celkové naakumulované a odebrané energii v Ah. Pro ochranu proti nadměrnému vybíjení akumulátoru regulátor odpojuje zátěž při poklesu napětí pod 10,8 V. V takovém okamžiku je odpojen i monitorovací systém a data tak nejsou přenášena do databáze. K obnovení dojde až při nabití akumulátoru na hodnotu napětí 11,2 V. Z tohoto důvodu se v naměřených datech vyskytují časové úseky bez platných hodnot.

V testovací konfiguraci byl solární regulátor připojen sériovým kabelem k malému směrovači RouterBOARD RB133c s nainstalovanou linuxovou distribucí OpenWRT. Běžící aplikace na směrovači komunikuje s regulátorem skrz sériové rozhraní a získaná data poskytuje jednoduchý daemon pomocí síťového komunikačního rozhraní socket. Implementovaný server běžící na vybraném TCP portu vrací klientovi formátovaný textový řetězec obsahující všechny aktuální hodnoty solárního regulátoru.

Spotřebiče jsou spínané pomocí solid state relé (SSR), které jsou řízené platformou Arduino s Ethernet Shieldem. Na Arduino je implementován velmi omezený HTTP server,

který ovšem pro naše účely řízení stačí. Zjišťování a nastavování stavu SSR probíhá pomocí jednoduchých GET požadavků.

Celkový náhled na systém ilustruje Obrázek 16.



Obrázek 16 Schéma testovací elektrárny

4 Popis systému

Tato kapitola se věnuje implementační části diplomové práce. Je zde představen samotný balík multiplatformních aplikací, které tvoří jádro systému na ovládání a prezentaci dat ze solární elektrárny. Součástí tohoto balíku je aplikace na sběr dat, která v určených časových intervalech stahuje aktuální data ze solárního systému a předpovědi počasí z webových stránek Českého Hydrometeorologického Ústavu. Pro ukládání těchto dat byla zvolena MySQL databáze, jejíž stavba bude popsána podrobněji v této kapitole. Pro vykreslování různých druhů grafů slouží knihovna JFreeChart, která se během zpracování této práce velmi osvědčila. Na základě zadaných parametrů jako jsou hraniční data, typ grafu a soubor dat, vrací na výstup požadovaný graf.

Součástí tohoto solárního systému je i plánovač aktivity spotřebičů, kde si uživatel může navolit, v jakou dobu mají běžet určité spotřebiče. Interakce uživatele se systémem probíhá skrze JavaScriptový plánovač, který komunikuje s Java Servletem. Informace o naplánovaných aktivitách jsou využity službou, která se stará o zapínání či vypínání jednotlivých spotřebičů. Dále jsou tyto data využity při počítání celkové zátěže systému a při predikci stavu kapacity akumulátoru v průběhu dne.

Pro prezentační vrstvu bylo zvoleno použití webových technologií (HTML, CSS, JavaScript), které ve spojení s Java Servlety nabízejí možnost vytvořit jedno grafické rozhraní pro různé druhy zařízení. Jednoduchost a přehlednost bylo hlavním mottem při vytváření grafického rozhraní, ve kterém uživatel nalezne různé druhy grafů a statistik.

4.1 Webové technologie

Během zpracování této diplomové práce byly použity následující technologie HTML5, JavaScript a CSS3, které umožňují vytvoření líbivých responsivních webových stránek. O funkcionalitu na straně klienta se stará skriptovací jazyk JavaScript, který ve spojení s AJAXem nabízí obrovské možnosti, díky možnosti komunikace se serverem. V této podkapitole budou taky podrobněji popsány nejnovější verze HTML a CSS, které nabízejí nové zajímavé vylepšení oproti jejich předchůdcům.

4.1.1 JavaScript

JavaScript je multiplatformní interpretovaný počítačový programový jazyk vyvinutý Brendaniem Eichem ze společnosti Netscape. Jméno tohoto programovacího jazyka může naznačovat, že bude mít něco společného s programovacím jazykem Java, ale pravý opak je pravdou. Z tohoto jazyka si bere pouze jmenné konvence. Daleko více je ovlivněn jazykem C. JavaScript umožnil vytvářet velmi dynamické a interagující webové stránky. Oproti jinému velmi hojně používanému skriptovacímu jazyku PHP, se JavaScript odehrává

na straně klienta. Z toho tedy plyne, že reakce na uživateli akci je daleko plynulejší a rychlejší, než kdyby se tyto úkony musely zpracovávat na serveru. Na druhou stranu z toho také plynou jistá bezpečnostní rizika. JavaScriptové funkce mohou být implementovány přímo v HTML kódu (viz Zdrojový kód 1) nebo separátně v souborech s příponou „.js“ a odkaz na tento soubor musí být uveden v hlavičce HTML dokumentu. Další výhodou tohoto jazyka je možnost interakce s Document Object Modelem (DOM), pomocí kterého můžeme měnit jakýkoliv element ve webové stránce. Tyto změny mohou být vyvolány reakcí na uživatelskou činnost na webové stránce. Např. pokud uživatel klikne kdekoli na webové stránce, JavaScript tuto událost zpracuje a zavolá přiřazenou funkci (výpis koordinátu kliku myši)[[15]].

Příklady užití:

- Asynchronní aktualizace obsahu webové stránky bez nutnosti znovu načtení celé webové stránky
- Animace webových prvků (rolovací menu, změna barvy atd.)
- Validace uživatelských vstupů před odesláním na server

Funkčnost JavaScriptu může být rozšířena mnoha knihovnami. Jednou z nejznámějších knihoven je knihovna JQuery. Ovšem je možné najít daleko menší knihovny, které se specializují pouze na jednu danou techniku (knihovny pro vytváření fotogalerií, knihovna na vyskakovací okna atd.).

```
<!DOCTYPE html>
<html>
  <head>
    <script language="javascript" type="text/javascript"> // Tento tag
    oznamuje, že zde začíná skript psaný v jazyce JavaScript
      function helloWorld() // Funkce, která je volána při stisknutí tlačítka
      {
        alert("Ahoj Světe!"); // funkce alert vyvolá pop-up okno s daným textem
      }
    </script>
  </head>
  <body>
    <button onclick="helloWorld()">Zmáčkní tlačítko</button> <!-- Nabídnutí
    eventy onClick na tlačítko. Eventa je vyvolána pokaždé, když uživatel
    stiskne tlačítko -->
```

Zdrojový kód 1 Ukázka JavaScriptu

4.1.2 AJAX

Jak může samotný název napovědět, AJAX není samostatnou technologií. Je to soubor webových technologií, které jsou propojeny JavaScriptem. Hlavním přínosem AJAXu je asynchronní komunikace se serverem. Tato technologie umožnila webovým

programátorům měnit obsah webových stránek bez nutnosti znovu načítat webovou stránku (automatické aktualizace webových diskuzí, našeptávače při vyhledávání atd.)[[16]].

Přidružené technologie:

- HTML a CSS – prezentační vrstva pro data přijaté pomocí AJAX požadavku,
- Document Object Model (DOM) – umožňuje změny jakéhokoliv webového prvku na webové stránce,
- eXtensible Markup Language (XML) a JavaScript Object Notation (JSON) – formát přenášených dat,
- XMLHttpRequest – pro samotnou komunikaci,
- JavaScript – propojení výše zmíněných technologií dohromady.

4.1.3 jQuery

jQuery je malá, rychlá a funkce bohatá JavaScriptová knihovna vytvořená pro zjednodušení skriptování na straně uživatele. jQuery přináší mnoho nových funkcí, jako jsou[[17]]:

- Vylepšená manipulace s DOMem – nově mohou být také použity CSS selektory, používá Id a class prvky z HTML elementu (viz Zdrojový kód 2),
- Snadnější zpracování událostí,
- Efekty a animace – poskytuje prvky pro stvoření vizuálně zajímavých stránek (změna barvy HTML elementů podle lokace kurzoru, roletková menu, postupné objevování a schovávání HTML elementů atd.).
- AJAX

```

<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
<title>jQuery Ahoj Světe</title>
<!-- Nalinkování jQuery knihovny k tomuto dokumentu -->
<script type="text/javascript" src="jquery.min.js"></script>
</head>
<body>
<script type="text/javascript"> // Začátek JavaScriptu
// funkce napsaná v syntaxi jQuery
$(document).ready(function(){
// jQuery používá DOM (nalezení HTML elementu podle jeho ID)
// s vlastností .html může být vloženo cokoliv do daného tagu
$("#msgid").html("Ahoj Světe!");
});
</script>
<!-- Div tag, který bude obsahovat zprávu napsanou v jQuery -->
<div id="msgid"></div>
</body>
</html>

```

Zdrojový kód 2 Ukázka JQuery

4.1.4 HTML

Jedna z použitých technologií v rámci této diplomové práce byla HyperText Markup Language, více známý pod zkratkou HTML. Počátky tohoto značkovacího jazyka se datují zpátky do devadesátých let, kdy britský fyzik Tim Berners-Lee pracoval v CERNu, Evropské Laboratoři pro Částicovou fyziku v Ženevě. Během jeho práce v CERNu začal hledat nějaký způsob, jak by se daly jednoduše sdílet dokumenty mezi ním a jeho kolegy. Tato snaha mu pomohla vytvořit užitečný nástroj a položila základy World Wide Webu. Pro tento pojem se vžila zkratka WWW. V průběhu tohoto nelehkého úkolu musel Tim Berners-Lee vyřešit několik problému, které budou níže představeny.

Bylo nutné vymyslet zcela nový jazyk, který by umožňoval formátování textu a stal by se standardem pro všechny dokumenty. Nový jazyk nebyl vytvořen od nuly, ale byl postaven na jiném velmi známém značkovacím jazyce SGML (Standard Generalized Markup Language). Dokumenty vytvořené tímto novým značkovacím jazykem se skládaly z mnoha HTML elementů. Každý HTML element v jeho základní podobě se skládá ze tří částí

1. Zahajovací a ukončovací tag: <title></title>,
2. Atributy v zahajovacím tagu: <h1 attribute="value">,</h1>
3. Text mezi těmito tagy: <title> Welcome Page </title>.

Každý element má svůj účel a pomáhá uživateli s formátováním textu. Například HTML element TITLE, definuje název dokumentu, který je zobrazen v záhlaví. Tim Berners Lee použil mnoho podobných tagů z jazyka SGML, například <title>, <p> pro odstavce nebo <h1 to h6> pro různé velikosti nadpisů. Ovšem jeden z nejdůležitějších tagů byl přidán samotným autorem tohoto jazyka. Tento tag umožňoval odkazování se mezi různými dokumenty a Berners-Lee ho pojmenoval <a>. Důležitým atributem tohoto elementu byl „href“, jehož hodnotou byla URL adresa umístění odkazovaného dokumentu (Text)[18].

Dalším problémem, se kterým se musel potýkat, bylo vytvoření prezentační vrstvy pro existující HTML dokumenty. Tim Berners-Lee vytvořil nový prohlížeč a nazval ho World Wide Web. Prohlížeč uměl zpracovávat HTML dokumenty, a co bylo nejdůležitější, že je uměl zobrazovat zcela správně. World Wide Web nebyl pouze prohlížečem, ale také editorem, který pomáhal novým uživatelům ve vytváření těchto dokumentů.

Další problém se týkal posílání HTML dokumentů skrze síť. Tim Berners-Lee vyřešil tento problém vytvořením transportní vrstvy. První návrh transportní vrstvy byl velmi jednoduchý a skládal se ze serveru a HyperText Transfer Protocolu (HTTP). Jediným úkolem serveru bylo zpracování HTTP požadavků a následné zasílání odpovědí obsahujících HTML dokumenty specifikované v požadavcích.

HTTP je bezstavový a na médiích nezávislý protokol na doručování veškerého virtuálního obsahu (soubory, obrázky nebo cokoliv jiného). Je to protokol založený na požadavcích a odpovědích na tyto požadavky mezi dvěma zařízeními. HTTP klient je obvykle webový prohlížeč, který zasílá požadavky na vzdálený HTTP server a následně přijímá odpověď od tohoto serveru. HTTP klient také prezentuje přijatá data v lehce čitelné formě. Jak bylo zmíněno dříve HTTP je:

1. Bezstavový – Klient a server o sobě vědí pouze během komunikace. Po dokončení cyklu jsou veškeré informace zapomenuty.
2. Nezávislý na médiích – V rámci tohoto protokolu jdou přenášet veškerá data, pouze je nutno specifikovat MIME (Multipurpose Internet Mail Extension) typ. Díky této informaci se webový prohlížeč dozví, jak zacházet s daty, které mu posílá server.

HTML5 je nejnovější verzí tohoto jazyka. Tato verze přišla s mnoha novými vylepšeními a optimalizací pro plynulejší běh na méně výkonných strojích, jako jsou tablety nebo mobilní telefony. HTML5 je také daleko více standardizovaná než její předchůdce. Byly také přidány nové HTML elementy, které umožňují rozdělit různý druh obsahu na stránce (<video>, <audio>, <canvas> atd.).

Vylepšení v HTML5:

- Canvas : umožňuje tvorbu 2D grafiky,

- Offline prohlížení webových stránek: cachování obsahu navštívených webových stránek pro možnost navštívení těchto stránek v offline režimu,
- Webové úložiště: stejně jako cookies založené na párech klíč-hodnota. Oproti cookies umožňuje uložení většího množství dat,
- Souborové API – nové API pro práci s lokálními soubory na počítači uživatele.

4.1.5 CSS

CSS bylo vyvinuto v roce 1997 pro webové programátory. Tento nový jazyk jim umožnil oddělení informací napsaných ve značkovacím jazyce od grafické interpretace těchto informací. Počátky jazyka nebyly zrovna jednoduché kvůli tehdejší jednoduchosti webových stránek. Vše bylo změněno, když webové prohlížeče začaly podporovat větší množství grafických prvků než základní fonty a pár barev pro změnu pozadí webových stránek.

CSS umožnilo zachování jisté jednotvárnosti všech webových stránek na daném webu. Jednotvárnost byla zaručena nalinkováním všech stránek k jednomu konkrétnímu CSS souboru, který následně ovlivnil všechny tyto stránky. CSS dovoluje mnoho různých grafických nastavení každého HTML elementu

- výšku a šířku daného elementu
- absolutní pozici v rámci stránky nebo relativní pozici k rodičovskému elementu
- barevnost – různé barvy pozadí, fontů, rámečků atd.
- vnitřní a vnější ohraničení a mnoho dalších

Další specialitou tohoto jazyka je možnost měnit vzhled stránek podle druhu zařízení, ze kterého uživatel danou stránku navštívil. V dnešní době je to jedna z nejdůležitějších vlastností CSS3 a to z důvodu existence mnoha zařízení s mnoha různými rozlišeními displeje. Tento druh optimalizace webových stránek se nazývá „Responzivní“. Responzivní webové stránky by měly poskytnout uživateli ideální rozložení elementů na stránce s jednoduchou navigací a to pro všechny možná zařízení na trhu.

Nejnovější verzí jazyka je CSS3. Tato verze je stále ve fázi standardizace, ale webové prohlížeče již podporují novou funkcionalitu a vlastnosti, které byly nově doimplementovány[[19]].

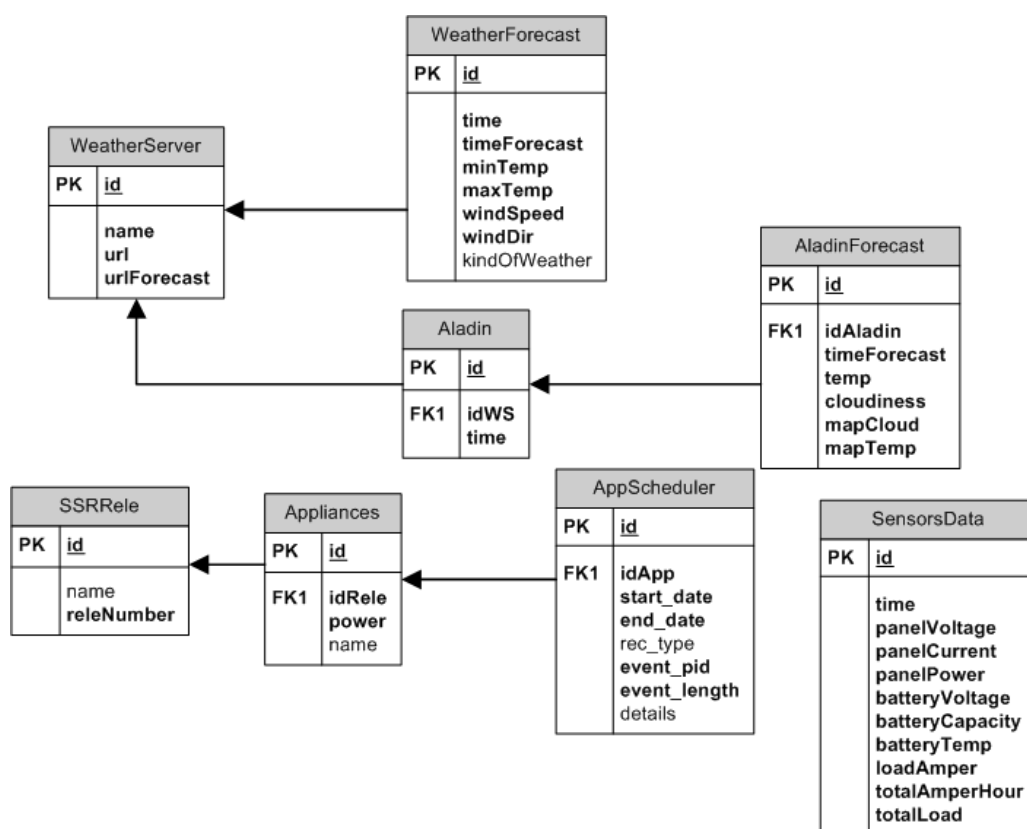
CSS3 obsahuje mnoho nových vlastností, které stojí za to zmínit

- Zaoblení rohu – nově doimplementována možnost vytvářet čtyřúhelníky se zaoblenými rohy (border-radius),
- Transformace – nová možnost k rozanimování webových stránek (rotace, pohybování a škálování),

- Media queries – tato vlastnost umožňuje vytvářet responsivní weby. Webové stránky mohou vypadat jinak na různých druzích zařízení. Jiný druh zobrazení pro landscape a portrait rozložení prvků.

4.2 Databázová vrstva

Při vytváření systému je nutné se také zaměřit na způsob ukládání dat. Kvůli neustále zvětšujícímu se množství dat z měření a předpovědí, již nebylo vhodné ukládat data v csv formátu a byla tedy zvolena možnost uložení dat do databáze. Pro tento účel byl zvolen databázový systém MySQL. Před startem aplikace je nutné zadat do konfiguračního souboru IP adresu serveru, přihlašovací jméno a jemu příslušící heslo. Po připojení dojde automaticky k vytvoření celé databázové struktury (viz Obrázek 17), která je uložena v příloženém sql souboru. Databáze se skládá ze tří částí, které dohromady obsahují osm tabulek. Část pro předpovědi počasí obsahuje čtyři tabulky, které dohromady tvoří komplexní strukturu pro ukládání dat. Pro plánování aktivity spotřebičů je nutné mít speciální tabulku, kterou využívá JavaScriptový plánovač. V této části se také nachází tabulka pro samotné spotřebiče a jejich skupiny. Poslední částí je tabulka pro ukládání naměřených dat ze solární elektrárny.



4.2.1 Shromažďování dat

Součástí balíku je i aplikace na sběr dat, která se po zapnutí začne v pravidelných intervalech dotazovat na aktuální stav solárního systému. V rámci aplikace je naimplementována funkcionality, která stahuje aktuální předpovědní mapy z modelu Aladin a analyzuje je. Všechna tato data jsou následně uložena databáze. Aby nedocházelo k duplicitnímu stahování dat, aplikace si ukládá informace o posledních stáhnutých předpovědích.

4.3 JFreeChart

Jak bylo zmíněno v kapitole výše, kvalitní systém by měl umět zobrazit naměřená data v grafické podobě. Pro tento účel byla vybrána knihovna JFreeChart, která je volně dostupná a umí vykreslit profesionálně vypadající grafy. V rámci systému jsou generovány dva různé typy grafů. První typ grafů je tzv. spojnicový graf, který vykresluje průběh jednotlivých měřených parametrů v závislosti na čase. Tohoto typu grafu je využito při zobrazování denního grafu, kde si lze všimnout dvou vlastností knihovny JFreeChart.

- Možnost volby různých barev pro jednotlivé soubory dat, sloužící pro lepší přehlednost a lehkou orientaci v grafu
- Možnost změny barvy pozadí v určitém časovém intervalu. Této schopnosti bylo využito pro zobrazení částí dne, kdy může na solární panely dopadat sluneční záření.

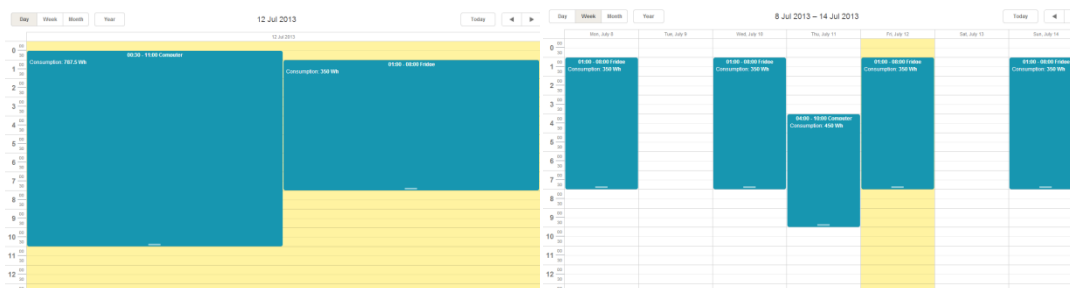
dalším typem je tzv. sloupcový graf, který slouží pro statistické znázornění množství vygenerovaných Wh v různých časových intervalech (měsíční, roční)[[20]].

4.4 JavaScriptový plánovač

Součástí výsledného balíčku aplikací, měl být i plánovač aktivity spotřebičů. Kvůli komplexnosti takovéto knihovny bylo zvoleno již existující řešení od softwarové firmy DHTMLX, jež je nabízeno v rámci nekomerční činnosti zdarma. Řešením je JavaScriptový plánovač, který umožňuje komunikaci s Java Servlety a tudíž naprosto zapadá do konstrukčního řešení vyvíjeného systému. Složitost začlenění knihovny do systému byla vynahrazena skvělou, místy až požadavky převyšující funkcionalitou[[21]].

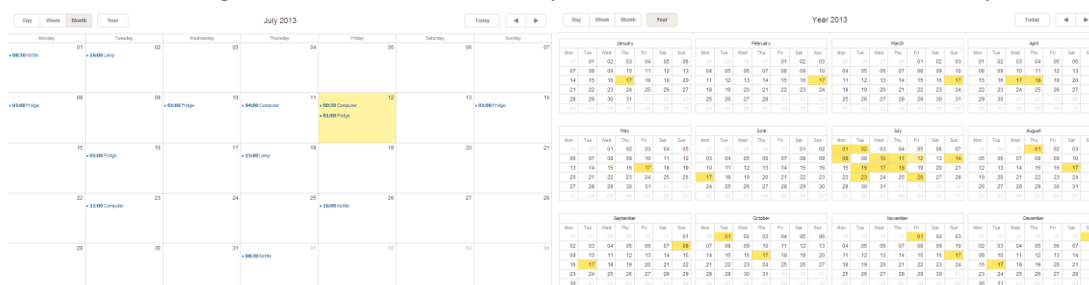
Plánovač od společnosti DHTMLX nabízí zobrazení naplánovaných aktivit v několika různých časových možnostech:

1. Denní – V této možnosti zobrazení lze vidět, že je den rozdělen do půl hodinových intervalů, ve kterých mohou začínat jednotlivé naplánované aktivity. V samotném rozpisu jsou události zobrazeny tvarem, v jehož hlavičce je časový interval, ve kterém bude spotřebič aktivní (viz Obrázek 18 vlevo). V popisu se nachází informace o celkové spotřebě pro konkrétní událost.



Obrázek 18 Denní a týdenní přehled

2. Týdenní – Rozdíl oproti předešlé možnosti je v počtu najednou zobrazených dnů. Naplánované aktivity jsou jinak vykresleny stejným způsobem jako v přehledu denním (viz Obrázek 18 vpravo).
3. Měsíční – Měsíční přehled má tvar nástěnného kalendáře, ve kterém jsou zapsány jednotlivé aktivity (viz Obrázek 19 vlevo). Oproti předešlým možnostem zde již nevidíme grafické zobrazení událostí, pouze textové (čas začátku a název spotřebiče).



Obrázek 19 Měsíční a roční přehled

4. Roční – V poslední možnosti přehledu lze vidět všechny měsíce najednou. Konkrétní události již nejsou v tomto přehledu uvedeny, pouze jsou zvýrazněny dny, ve který je naplánována nějaká aktivita (viz Obrázek 19 vpravo).

4.4.1 Naplánování události

Základní funkcí celé této knihovny je samotné naplánování aktivity spotřebičů. Zobrazení vyskakovacího okna, s možností přidat událost, probíhá dvojklikem na aktuálně zapnutý přehled. V nastavení události si uživatel z vysouvacího menu vybere spotřebič, kterému by chtěl naplánovat aktivitu. Dále je zvolen čas, kdy se má spotřebič zapnout a vypnout. Po zadání těchto hodnot se aktualizuje popis události a zobrazí se vypočtená spotřeba pro

tuto aktivitu. Důležitou funkcí v plánovači je schopnost naplánovat opakující se události. Tato funkcionality je aktivována kliknutím na tlačítko disabled v sekci „Repeat Event“. Uživatelé je nabídnuto se třemi druhy opakování (viz Obrázek 20)

- Denní – událost se může opakovat každý den nebo každých x dnů, kde x je zadaná hodnota ve formuláři,
- Týdenní – vstupními parametry u týdenního opakování jsou dny, ve kterých má být událost aktivní a jak často se mají události opakovat,
- Měsíční – v měsíčním opakování lze nastavit, že spotřebič bude aktivní každé třetí pondělí v měsíci a to se má opakovat každé dvě měsíce.

The screenshot shows a web form for configuring a repeating event. At the top, it says '01:00 - 08:00 Fridge Fridge'. Below this, there's a section for 'Appliance' with a dropdown menu showing 'Fridge'. The 'Description' field contains '350 Wh'. The 'Repeat event' section has three radio buttons: 'Daily', 'Weekly' (selected), and 'Monthly'. To the right of these, there's a 'Repeat every' field set to '1' and a 'week next days:' section with checkboxes for 'Monday', 'Tuesday', 'Wednesday', 'Thursday', 'Friday', 'Saturday', and 'Sunday'. The 'End by' field is set to '08.11.2013'. At the bottom, there's a 'Time period' section with two date-time pickers: '01:00 16 July 2013' and '08:00 16 July 2013'. There are three buttons at the bottom: 'Save' (blue), 'Cancel' (white), and 'Delete' (orange).

Obrázek 20 Vytváření opakující se události

Všechny výše zmíněné opakování spojuje závěrečné nastavení, ve kterém je zadáno kolikrát se má událost opakovat nebo datum, kdy má opakování skončit. V sériích lze také editovat jednotlivě každý výskyt dané události (možnost i smazání události, když není potřeba aktivity spotřebiče). I když série mohou obsahovat i stovky událostí, tak do databáze je vložen pouze jeden řádek se speciálním řetězcem, který nám definuje vzor, podle kterého se události opakují.

4.5 Java Server

Cílem této práce byla i prezentace naměřených dat. Hlavní důraz při zpracování grafické části, byl kladen na přehledné zobrazení statistických dat a jednoduché ovládání systému. Z popisu použitých technologií v minulé kapitole je zřejmé, že pro prezentaci dat byly vybrány webové technologie, které umožňují přístup z různorodých zařízení. Když se k této vlastnosti přidá i multiplatformnost jednotlivých aplikací, tak vzniká jedinečný set, který vyhovuje celé škále uživatelů.

Vytvořený server slouží jako prostředník mezi webovým prohlížečem a jednotlivými aplikacemi na serveru. Aktivita uživatele na webových stránkách je zpracovávána prohlížečem a pomocí asynchronních dotazů a odpovědí ze serveru, jsou mu předkládána požadovaná data ve formě grafů či statistik. O zpracování asynchronních dotazů se na serveru starají tzv. Servlety, které obdrží od webového prohlížeče parametry (typ požadovaného grafu, den pro který má být graf vypracován atd.) a zavolají pro to určené knihovny. V těchto knihovnách dojde k vypracování požadavku a následně servlet odešle HTTP odpověď zpátky do webového prohlížeče, kde dojde ke zpracování a vykreslení obdržených dat.

Datovou strukturou pro přenos veškerých dat mezi serverem a prohlížečem byl zvolen JSON (JavaScript Object Notation), který se vyznačuje jednoduchostí a přehledností. Základními typy formátu JSON jsou nejenom řetězce, čísla, binární hodnoty, ale je možné vkládat pole a objekty. Pole se skládají z vícera objektů a jsou uzavřeny do hranatých závorek. Objekty jsou kolekce dat ve formátu „klíč“ „:“, „hodnota“ (klíč musí být unikátní), které jsou uzavřeny ve složených závorkách. Ve výsledku je možné skládat tyto struktury jednu do druhé a dostat tak komplexní řešení pro výměnu dat, v tomto případě mezi serverem a webovým prohlížečem.

4.5.1 Servlety

Servlet je třída v programovacím jazyce Java, která rozšiřuje možnosti webových serverů. Stará se o zpracování informací obdržených např. z webových prohlížečů a následného odesílání odpovědi. Servlety jsou konkurencí programovacích jazyků, které umožňují zpracování dat na serveru (PHP, ASP.NET).

Výhodou servletů, oproti jiným řešením, je nahrání pouze jedné instance do paměti, která pak pouze odpovídá na jednotlivé HTTP requesty (CGI skripty jsou při každém požadavku nahrány do paměti, tudíž může lehce dojít k zahlcení serveru). Další výhodou servletů je běh v prostředí aplikačního serveru, takže může využívat veškeré funkcionality, kterou Java nabízí (dotazování do databáze, bezpečnost, používání různých knihoven atd.). Životní cyklus servletů se skládá ze tří fází:

1. Inicializace - cyklus servletu začíná, jakmile webový kontejner zavolá metodu `init()`, při které dojde k inicializaci a nahrání servletu do paměti. Toto volání probíhá pouze jednou, jelikož servlet běží pouze v jediné instanci,
2. Zpracovávání požadavků – každý HTTP požadavek, který server obdrží, vytváří nové vlákno voláním metody `service()`. Vlákno se postará o zpracování požadavku, odeslání odpovědi a zanikne,
3. Zaniknutí – při ukončení aktivity webového serveru se zavolá metoda `destroy()`, která odstraní servlet z paměti (vždycky je volána pouze jednou, jelikož existuje pouze jedna instance daného servletu).

V rámci diplomové práce bylo použito více servletů, kde každý měl jiný úkol (konfigurační, vykreslovací, komunikace s DB) a níže budou tyto servlety představeny

1. Aktuální data (ActualData.java) – první servlet se stará o získání aktuálních informací ze solárního systému. Z aktuálních dat sestaví JSON datový formát, který následně odešle zpět do webového prohlížeče.
2. Konfigurace (Config.java) – tento servlet obsahuje již více funkcionality než servlet předešlý. Po zavolání si zpracuje obdržená data z prohlížeče a na základě těchto dat určí, co je potřeba udělat. Mezi jeho základní funkce patří konfigurace systémových proměnných (adresa solárního systému, parametry solárního systému, adresa MySQL databáze), které ukládá či načítá z konfiguračního souboru „config.xml“. Další úkolem je rozeznání aktivity uživatele, která může být různorodá. Uživatel se může rozhodnout přidat nový spotřebič, editovat již přidáný nebo nějaký spotřebič smazat. Proto je nutné správně vyhodnotit, co má vlastně uživatel v plánu. Vyhodnocování probíhá podle obdržených informací z webového prohlížeče.
3. Grafy (Graphs.java) – důležitou součástí prezentace dat je množství různých grafů. O zpracování požadavků na vykreslení grafů se stará právě tento servlet. Podle obdržených informací rozezná, zda je požadován denní, měsíční, roční či uživatelův graf a využije jednu ze silných servletových vlastností, zavolání externí knihovny na vykreslování grafů. Při odesílání vytvořených obrázků zpět do webového prohlížeče se vyskytl problém, jelikož JavaScript neumožňuje přidání surových dat do HTML tagu . Naskytla se dvě různá řešení tohoto problému
 - I. Uložení obrázku na souborový systém a zaslání jeho URL adresy do webového prohlížeče, kde by tato adresa byla přidána do atributu „src“. To by ovšem vedlo k hromadění vytvořených obrázků a proto bylo zvoleno následující řešení.
 - II. Toto řešení využívá možnosti zakódování obrázku do datového formátu BASE64, který zobrazuje binární data pomocí ASCII znaků. Pokud do HTML stránky vložíme element ve tvaru „“, pak je webová stránka schopna tento obrázek vykreslit.
4. Plánovač (MyScheduler.java) – poslední servlet se stará o komunikaci s plánovačem, ve kterém uživatel určuje, v jaké době mají běžet konkrétní spotřebiče. Servlet si zažádá do DB o informace, které obsahují naplánované úkoly. Tyto informace jsou poté převedeny do speciálního formátu, který je odeslán do prohlížeče, ve kterém dojde k vykreslení jednotlivých úkonů. Servlet obstarává také přidávání/mazání/editaci těchto úkonů.

4.6 GUI programu

Důležitou částí každého informačního systému je způsob prezentování dat uživateli. Jedním z hlavních cílů této diplomové práce bylo přehledně prezentovat naměřená data a jednoduchá obsluha funkcí systému. Ovládání systému by mělo působit na uživatele zcela intuitivně a neměl by být problém s jeho pochopením. Veškerý grafický výstup tohoto systému se odehrává pouze na třech webových stránkách. Jednou z nich je JavaScriptový plánovač, který byl popsán v kapitole 4.4. Hlavní přehled a podrobné grafy budou představeny níže.

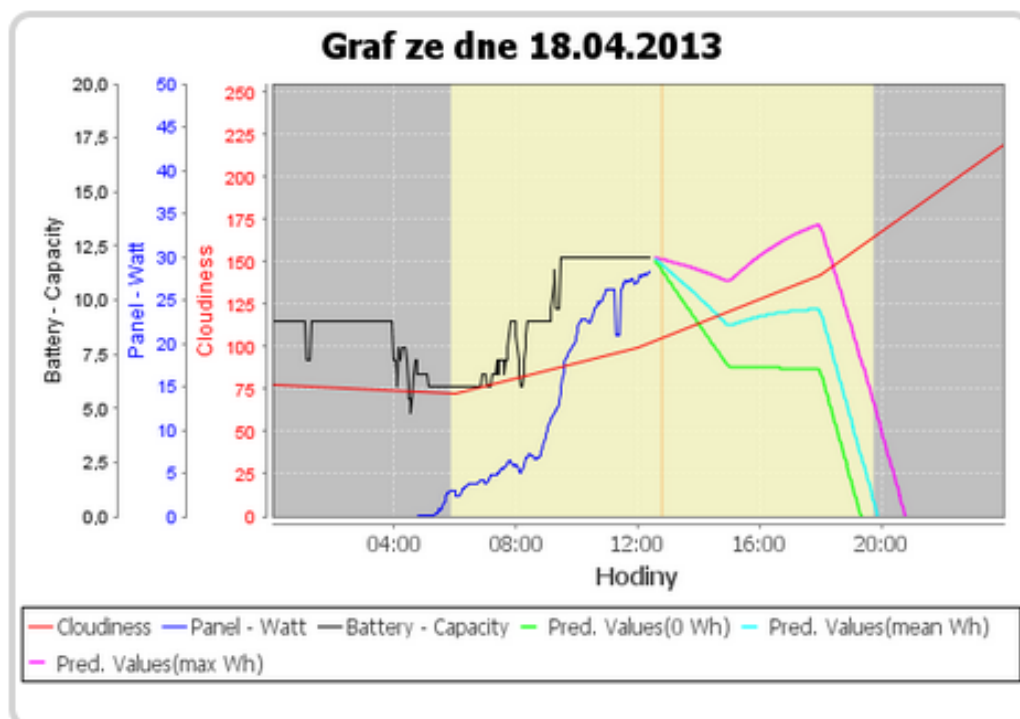
4.6.1 Hlavní přehled

Každá takováto aplikace by měla mít přehlednou úvodní stránku, na které jsou zobrazena aktuální data, které nám systém poskytuje. Hlavní přehled se v tomto případě skládá ze čtyř autonomních částí. Během vytváření tohoto hlavního grafického rozhraní byl kladen důraz i na jistou schopnost webové stránky reagovat na velikost displeje zařízení, ze kterého je k ní přistupováno.

4.6.1.1 Aktuální graf

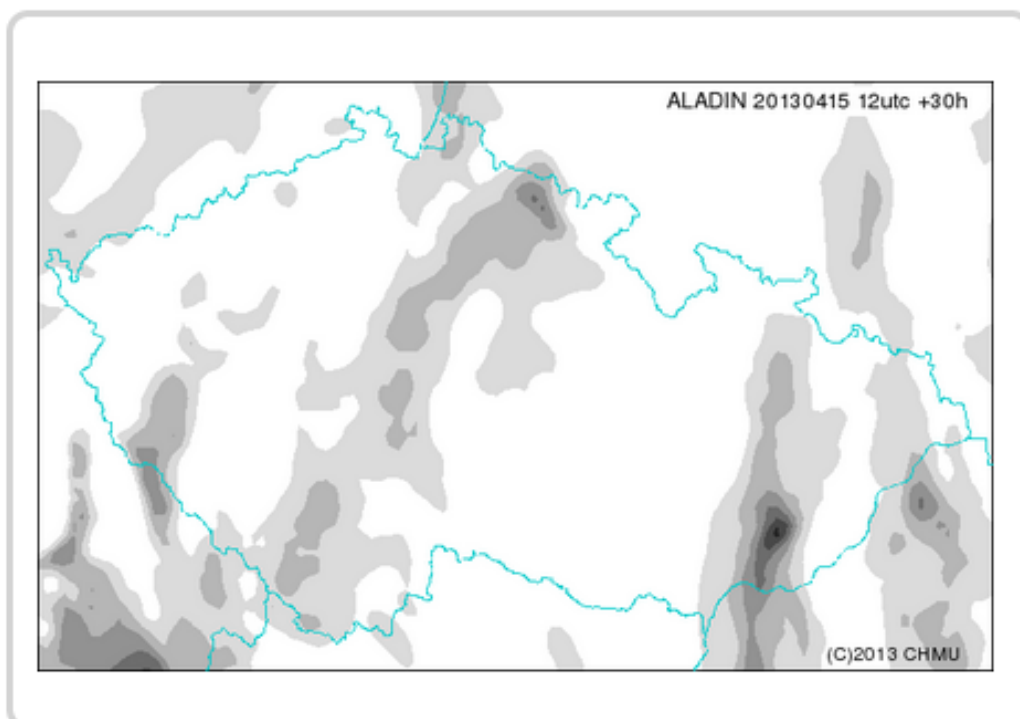
V této části je zobrazen průběh naměřených dat z aktuálního dne. K prezentaci těchto dat slouží graf, ve kterém jsou zaznačeny tři křivky. Uživatel má tedy přehled o výkonu systému, předpovědi oblačnosti a stavu kapacity akumulátorů. Z grafu je také patrné, kdy došlo k východu slunce, kdy slunce zapadlo a také moment, kdy bylo v tzv. solárním poledni (slunce je v nejvyšším bodě). Systém se také snaží predikovat vývoj kapacity akumulátorů. Tato predikce je patrná při rozdělení křivky kapacity akumulátorů na tři další. Význam onoho rozdělení spočívá v množství elektrické energie dodávané systémem (viz Obrázek 21).

1. Maximální energie – do akumulátorů bude dodáváno maximální množství energie, které mohou solární panely vygenerovat,
2. Predikovaná energie – akumulátor obdrží takové množství energie, které bylo odvozeno od předpovědi počasí,
3. Minimální energie – solární panely negenerují žádnou energii.



Obrázek 21 Aktuální graf

Algoritmus, který se stará o výpočet tvaru těchto křivek, bere v potaz i naplánovanou aktivitu spotřebičů. Díky této funkcionalitě může uživatel reagovat na danou situaci a vynutit si vypnutí nepotřebných spotřebičů.



Obrázek 22 Mapa Aladinu pro daný den

Napravo od grafu je zajímavá související předpověď z numerického modelu Aladin. Předpověď ukazuje vývoj oblačnosti pro aktuální den (z této předpovědi je predikováno množství vygenerované energie), tudíž uživatel může pohledem korelovat vývoj oblačnosti a množství vygenerované energie (viz Obrázek 22).

4.6.1.2 Plánovač

V úvodním přehledu se také nachází plánovač s aktuálním kalendářním měsícem, který zobrazuje na které dny je naplánovaná aktivita spotřebičů. Plánovač od společnosti DHTMLX nabízel funkci mini kalendáře, která ovšem naprosto nevyhovovala naplánované funkcionalitě. Z tohoto důvodu byla zvolena úprava měsíčního rozdělení (viz kapitola), ve kterém byl textový výpis událostí zaměněn za grafické znázornění (změna barvy pozadí u konkrétního dne). Jelikož hlavní funkcí tohoto mini kalendáře je informovat o naplánovaných událostech, byla zakázána možnost vytvářet události. Informace o naplánovaných událostech je možné zobrazit kliknutím na konkrétní den. Stisk tlačítka myši vyvolá event, která zobrazí pod mini kalendářem seznam s naplánovanými událostmi (viz Obrázek 23). Kliknutím na konkrétní událost se lze přesunout do plánovače, který již umožňuje její editaci.

July 2013						
Su	Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa
30	01	02	03	04	05	06
07	08	09	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31	01	02	03
11:00 - 20:00 : Computer (675 Wh)						

Obrázek 23 JavaScriptový plánovač

4.6.1.3 Aktuální data

Hlavní přehled by měl také umět zobrazit aktuální data ze solárního systému. O prezentaci těchto dat se stará tabulka pod výše zmíněnými částmi. Solární systém nám poskytuje tyto data:

- Napětí na solárních panelech

- Proud ze solárních panelů
- Generovaný výkon ze solárních panelů
- Napětí na akumulátorech
- Kapacita akumulátorů
- Teplota akumulátorů
- Celková zátěž systému
- Celkový počet vygenerovaných Ah
- Celkový počet spotřebovaných Ah



Obrázek 24 Aktuální data

Pokud systém není z nějakého důvodu schopen poskytnout požadovaná data, je místo aktuálních hodnot zobrazen řetězec N/A.

4.6.1.4 Ovládací část

V rámci systému je potřebné konfigurovat základní proměnné (IP adresy systému, nastavení připojení k DB atd.) a také umožnit uživateli přidávání spotřebičů a jejich skupin. Všechny tyto funkce jsou aktivovány tlačítky v dolní části webové stránky. I tato část využívá ikonek pro zobrazení jednotlivých funkcí a tudíž dodržuje nasazený styl v celém hlavním přehledu.

MySQL credentials

Enter IP address

Enter port

Enter username

Enter password

SolarPanel information

Enter IP address

Enter port

Total surface of Solar panels in square meters

Battery bank total Ah

Battery bank voltage

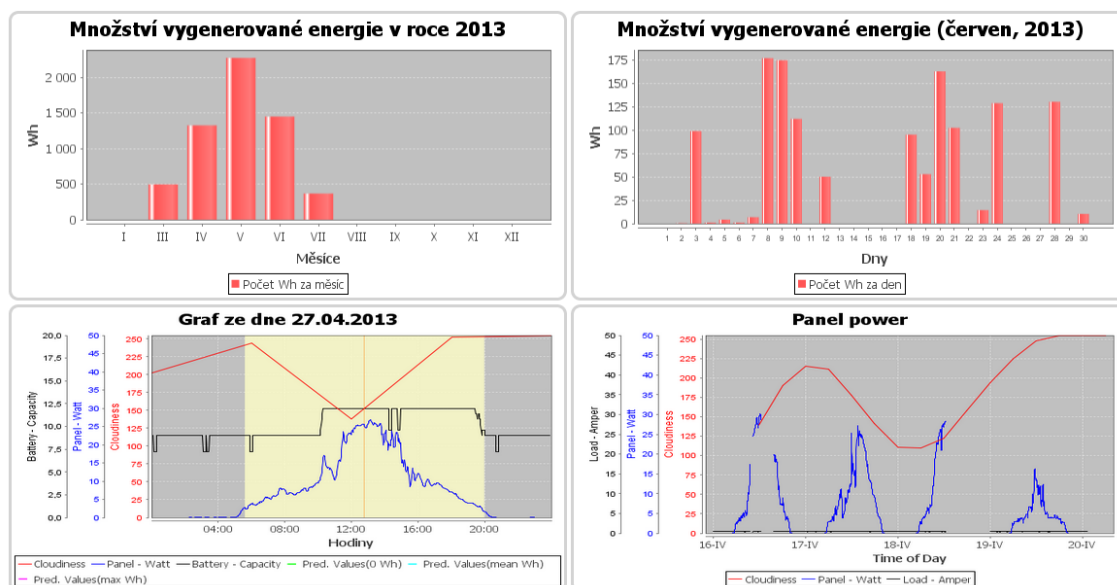
Submit
Cancel

Obrázek 25 Konfigurace systému

- Konfigurace – Po vyvolání konfiguračního menu může uživatel zkontrolovat správnost zadaných informací, případně je upravit podle zamýšlených změn v solárním systému. Aby mohl systém správně fungovat, je potřebné zadat informace o solárním systému (celková plocha solárních panelů, kapacita akumulátorů atd.). Systém je také závislý na ukládání dat do databáze, z tohoto důvodu je nutné zadat přístupové informace k MySQL databázi (IP adresa, přihlašovací jméno, heslo). Formulář lze vidět na Obrázek 25.
- Skupiny spotřebičů – softwarový název pro SSR Relé, které umožňují zapnutí/vypnutí přívodu elektrické energie do dané větve systému. Na každou větev je možné napojit určitý počet spotřebičů. Uživatel může libovolně přidávat/editovat/mazat tyto skupiny spotřebičů, ale je nutné brát ohled, že softwarové nastavení by mělo reflektovat hardwarové uspořádání v systému.
- Spotřebiče – každý spotřebič musí být přiřazen do určité skupiny spotřebičů, aby bylo při zapnutí možné určit, které SSR relé by mělo být sepnuto. Další důležitou informací o spotřebičích je jejich příkon, ze kterého je vypočítávána celková spotřeba (při predikci stavu akumulátorů, plánovač atd.).
- Historie – odkaz, který přesměruje uživatele na webovou stránku, na které se nacházejí grafy (denní, měsíční, roční). Tato část grafického rozhraní bude zmíněna níže.
- Plánovač – po kliknutí na tento odkaz je uživatel přesměrován do plánovače, který byl popsán v kapitole JavaScriptový plánovač.

4.6.2 Grafy

Poslední částí grafického rozhraní je stránka s grafy, ve které jsou graficky znázorněna naměřená data. Stránka by opět měla být do jisté míry responsivní, ale je zde minimální hranice velikosti displeje, kdy budou grafy hůře čitelné (limit použité knihovny). Webová stránka je rozdělena do čtyř kvadrantů, kde každý slouží k zobrazení jiného druhu grafu (viz Obrázek 26). K jednotlivým grafům je také implementována funkcionality, která umožňuje prohlížení okolních intervalů. Stiskem myši na levé straně se časová jednotka odečte, stiskem na pravé straně se přičte (např. při kliknutí na měsíční graf „Červenec 2013“ je možné se přesunout buď na „Červen 2013“ nebo „Srpen 2013“).



Obrázek 26 Stránka s grafy

- Měsíční a Roční graf – sloupcové grafy, které zobrazují množství vygenerovaných Wh ve dnech resp. měsících,
- Denní graf – totožný graf jako v hlavním přehledu
- Uživatelský graf – posledním grafem v tomto přehledu je speciální typ grafu podle požadavků uživatele. Při kliknutí na poslední kvadrant, se objeví nabídka, která umožní uživateli zobrazení dat v určitém časovém úseku a zobrazení různých křivek (napětí na panelu, proud na panelu, vývoj oblačnosti, aktuální zátěž systému atd.)

5 Závěr

Cílem této práce bylo vytvořit balík aplikací, který poskytne majiteli přehled o dění v solárním systému. Bude mu umožněno sledovat vývoj jednotlivých parametrů v závislosti na denní době (napětí a proud na panelech, aktuální zatížení systému atd.), ale také plánovat běh zapojených spotřebičů do systému.

Rešerše poskytla pohled na komerční alternativy podobných softwarů, které vesměs nabízí podobné funkce. Aplikace vyvíjená v rámci této diplomové práce se však pokusila ukázat a navrhnout nové možnosti těchto systému. Navrhované možnosti spočívají v predikci vygenerované elektrické energie a následnému automatickému zapínání a vypínání jednotlivých spotřebičů

Zpracování této diplomové práce poskytlo náhled do mnoha různých oblastí technologií a přírodních věd. V rámci přírodních věd zde může být zmíněno fungování solárního systému či samotná přeměna solárního záření na elektrickou energii. Při zpracování softwarové části bylo nutné seznámení se s nejnovějšími webovými technologiemi, které určují trend vývoje multiplatformních aplikací. Při zkoumání vlivu předpovědi počasí na vygenerované elektrické energii bylo využito znalostí statistické analýzy, kde se bohužel závislost nedala potvrdit kvůli nepřesnosti předpovědí a nedostatečnému statistickému souboru dat.

Z hlediska vylepšení efektivity solárního systému se nabízí možnost vylepšit ukotvení solárních panelů. Nejlepší variantou pro malé domácí solární systémy se jeví dvouosé sledovací ukotvení, kde je zaručena maximální efektivita. Co se týká softwarové části je vždycky co vylepšovat, ale co by si zasloužilo vylepšení je určitě algoritmus na predikci vygenerované energie. Vylepšení by mohlo spočívat v začlenění i jiných numerických modelů, které mají větší počet denních předpovědí, než má Aladin. Prostor na vylepšení se také nabízí pro porovnávání předpovědí a reálných oblačností nad místem umístění panelů (např. v podobě fotografií oblohy z tohoto místa).

6 Literatura

- [1] Solar Energy Statistics. *Statistic Brain* [online]. Statistic Brain Research Institute, 2012 [cit. 2013-07-17]. Dostupné z: <http://www.statisticbrain.com/solar-energy-statistics/>
- [2] Princip FVE. *Slunce pracuje* [online]. 2010 [cit. 2013-07-10]. Dostupné z: <http://www.sluncepracuje.cz/cz/technika/technicke-reseni>
- [3] BOXWELL, Michael. *Solar electricity handbook: a simple, practical guide to solar energy : how to design and install photovoltaic solar electric systems*. 2011 ed., 4th ed. Ryton on Dunsmore, Warwickshire, U.K: Greenstream Pub. ISBN 978-190-7670-046.
- [4] V síti Aladinu. *Euro*. 2013, roč. 2013, č. 28. Dostupné z: <http://euro.e15.cz/archiv/v-siti-aladinu-1002619>
- [5] Aladin. *Centre National de Recherches Météorologiques* [online]. 1999 [cit. 2013-07-12]. Dostupné z: <http://www.cnrm.meteo.fr/aladin/>
- [6] Český hydrometeorologický ústav [online]. 2008 [cit. 2013-07-17]. Dostupné z: <http://www.chmi.cz/>
- [7] Předpovědi modelu Aladin. Český hydrometeorologický ústav [online]. 2008 [cit. 2013-03-17]. Dostupné z: <http://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ov/aladin/results/ala.html>
- [8] NELSON, Jenny. *The physics of solar cells*. River Edge, NJ: Distributed by World Scientific Pub. Co., c2003, xix, 363 p. ISBN 18-609-4349-7
- [9] *AltE store: Solar Electric Power* [online]. 1999 [cit. 2013-07-09]. Dostupné z: <http://www.altestore.com/howto/Solar-Electric-Power/c30/>
- [10] *Free Sun Power* [online]. 2008 [cit. 2013-07-07]. Dostupné z: <http://www.freesunpower.com/>
- [11] JUMRUSPRASERT, Pattanapong. *Comparing the Efficiency of Fixed and Tracking Solar Cell Panels*. UK: Lambert Academic Publishing, 2010. ISBN 3838355687.
- [12] How to track sun. *PC in Control* [online]. 2008 [cit. 2013-07-11]. Dostupné z: http://www.pc-control.co.uk/howto_tracksun.htm
- [13] DJAMILA REKIOUA, Ernest Matagne. *Optimization of photovoltaic power systems modelization, simulation and control*. 2012. vyd. London: Springer. ISBN 978-144-7124-030.
- [14] *Solární moduly* [online]. 2013 [cit. 2013-07-02]. Dostupné z: <http://www.solarnimoduly.cz/>
- [15] JavaScript. *W3schools* [online]. 1999 [cit. 2013-06-29]. Dostupné z: <http://www.w3schools.com/js/>
- [16] AJAX. *W3schools* [online]. 1999 [cit. 2013-06-29]. Dostupné z: <http://www.w3schools.com/ajax/>
- [17] *JQuery* [online]. 2013 [cit. 2013-07-09]. Dostupné z: <http://jquery.com/>
- [18] *HTML5 rocks* [online]. 2013 [cit. 2013-07-01]. Dostupné z: <http://www.html5rocks.com/en/>

- [19] CSS. *W3 schools* [online]. 1999 [cit. 2013-06-29]. Dostupné z:
<http://www.w3schools.com/css/>
- [20] GILBERT, David. *The JFreeChart Class Library*. UK: Object Refinery, 2009.
- [21] JavaScript Scheduler. *DHTMLX* [online]. 2013 [cit. 2013-07-05]. Dostupné z:
<http://www.dhtmlx.com/docs/products/dhtmlxScheduler/index.shtml>